

「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」  
事後評価報告書

平成25年1月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

平成25年1月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
理事長 古川 一夫 殿

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会 委員長 西村 吉雄

NEDO技術委員・技術委員会等規程第33条の規定に基づき、別添のとおり  
評価結果について報告します。

## 目 次

はじめに	1
分科会委員名簿	2
審議経過	3
評価概要	4
研究評価委員会におけるコメント	7
研究評価委員会委員名簿	8
第1章 評価	
1. プロジェクト全体に関する評価結果	1-1
1. 1 総論	
1. 2 各論	
2. 個別テーマに関する評価結果	1-19
2. 1 基礎的・共通的課題のための研究開発	
2. 2 実用性向上のための技術開発	
3. 評点結果	1-28
第2章 評価対象プロジェクト	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会における説明資料	2-2
参考資料1 評価の実施方法	参考資料 1-1
参考資料2 評価に係る被評価者意見	参考資料 2-1
参考資料3 分科会議事録	参考資料 3-1
参考資料4 評価結果を受けた今後の取り組み方針について	参考資料 4-1

## はじめに

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」の事後評価報告書であり、第32回研究評価委員会において設置された「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」（事後評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第34回研究評価委員会（平成25年1月15日）に諮り、確定されたものである。

平成25年1月  
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」

事後評価分科会委員名簿

(平成24年10月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	まつなが もりお 松永 守央	九州工業大学 学長
分科会長 代理	しもつ まさてる 下津 正輝	前 徳島文理大学 理工学部 機械創造工学科 教授
委員	いずみ まさあき 泉 政明	北九州市立大学 国際環境工学部 機械システム工学科 教授
	ひびの たかし 日比野 高士*	名古屋大学 大学院環境学研究科 都市環境学専攻 教授
	ひらた よしひろ 平田 好洋	鹿児島大学 大学院理工学研究科 化学生命・化学工学専攻 教授
	もり としゆき 森 利之	独立行政法人 物質・材料研究機構 環境エネルギー材料部門 電池材料ユニット 燃料電池材料グループ グループリーダー
	よしたけ まさる 吉武 優	燃料電池開発情報センター 常任理事

敬称略、五十音順

注\*：実施者の一部と同一大学であるが、所属部署が異なるため（実施者：名古屋大学大学院工学研究科機械理工学専攻）「NEDO 技術委員・技術評価委員規程(平成23年7月7日改正)」第34条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

## 審議経過

### 第1回 分科会（平成24年10月19日）

#### 公開セッション

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法と評価報告書の構成について
4. プロジェクトの概要説明

#### 非公開セッション

5. プロジェクトの詳細説明
6. 全体を通しての質疑

#### 公開セッション

7. まとめ・講評
8. 今後の予定
9. 閉会

### 第34回研究評価委員会（平成25年1月15日）

## 評価概要

### 1. 総論

#### 1) 総合評価

環境・エネルギー問題解決と安定したエネルギー供給のための技術の一つとして、SOFC（固体酸化物形燃料電池）の開発が国内外で精力的に進められているなかで、NEDO が本プロジェクトを実施した意義は大きい。

本プロジェクトにおける学と産のそれぞれの強みを発揮した実施体制は、学で得られた科学的知見を産での製品の性能改善に迅速に活用できるものである。その成果はセルスタックの劣化機構解明とその成果を活用したメーカーでの劣化改善に活かされ、家庭用 SOFC コージェネレーションの市販に結実したものと大きく評価できる。また、世界最高水準の SOFC-MGT（マイクロガスタービン）ハイブリッドシステムでも高圧運転での信頼性を検証できた成果は大きい。今後、後継プロジェクトにおいても、本プロジェクトで確立された体制を活用する仕組みを継続することを期待する。

しかしながら、国際競争力を確保するためには、技術開発の成果を参画機関より国際特許出願の形で主要先進国に発信するなど、知的財産戦略に改善の余地がある。また、2015 年前後から予定している SOFC の普及拡大において、中容量分散電源用としての SOFC の導入メリットが十分に明確化されておらず、想定する市場に SOFC が適するかの精査の必要性がある。

#### 2) 今後に対する提言

今後、国際競争力を確立するためにはコストダウンが不可欠であり、本プロジェクトで目処が立った性能を維持しつつ、新規なアイデアによるコストダウンを目指す計画が必要である。

また、本プロジェクトでは複数の型式が研究されたが、用途に応じた性能比較により、型式を絞るプログラムを企画することが望ましい。

今後の普及拡大のためには、セルスタックの開発とシステムの開発を両立させていく必要がある。また、日本企業の総合力を挙げていくためには、本プロジェクトに参画していない企業にも共通的・基盤的課題のための研究開発で得られた成果を共有できる仕組みづくりも必要である。

さらに今後は、NEDO プロジェクトでは普遍性のある課題を絞り込む等、社内で行えることと国が関与すべきことをより明確に区別して進めることが重要である。世界的に SOFC 開発の動きは活発であり、競争力の維持、確保、及び本格商業化に向けて、発電効率向上、低コスト化、耐久性向上は継続して進め

ることが必要であり、海外展開を踏まえた将来構想を明確にしておくべきである。

## 2. 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

高いエネルギー変換効率と総合エネルギー効率が期待できる SOFC は、エネルギー資源に乏しい我が国が今後のエネルギー分野での国際競争力に打ち勝って優位な立場を維持するために重要であり、エネルギーイノベーションプログラムの目標達成に大いに寄与するものである。SOFC のように開発期間が長期におよび、かつ多額の資金が必要なプロジェクトは、リスクが高く民間のみによる事業化が困難であることから NEDO 事業として実施することは適切である。

限られた国家予算の中で実施される大規模プロジェクトであるので、今後 PEFC（固体高分子形燃料電池）と SOFC の優位性の比較や、既存システムあるいは他の開発システムに対する SOFC の優位性の分析などを行い、用途を意識した事業目的をもう少し掘り下げる必要がある。

### 2) 研究開発マネジメントについて

国内外の SOFC の技術開発動向を踏まえた適切かつ挑戦的な目標設定がなされ、適格なプロジェクトリーダーの下、SOFC 開発のための高い技術力・知識・経験を保有する企業および大学・研究機関で構成されている。また、中間評価結果やプロジェクトの進捗状況を世界的動向と比較して適切に対応した点は高く評価できる。

特に、目標を達成するために、参画したすべての産学組織で情報が共有され、学での性能劣化の原因分析を企業での SOFC の長期安定性の改良に活かしており、事業遂行のマネジメントは非常に優れている。

一方、SOFC の市場導入のためセルスタックの劣化を最重要課題として取り組んでいることは理解できるが、今後、システムで販売していく以上、システム全体でのコスト、性能、劣化や信頼性を評価する必要がある。

### 3) 研究開発成果について

産学連携によりセルスタックの性能劣化原因の究明と改善への活用が非常に効果的に働き、科学的知見に基づく材料選択や対策等により、長期安定性等の性能が飛躍的に改善されており、世界最高水準の成果が得られている。また、この成果を活用して本プロジェクトの途中で、家庭用コジェネレーションとしての SOFC システムの販売が開始されたことは高く評価できる。

しかしながら、特許申請は基本的に各企業に任せ、プロジェクト規模や成果に比べて特許の国際出願数が少ない。知的財産権等の取扱が戦略に沿ってなされているとは言い難く、国際競争力を確保するための戦略的な取組を急ぐ必要がある。

#### 4) 実用化、事業化の見通しについて

家庭用コジェネレーションとしては、SOFCシステムの販売が開始され、また、2015年度頃からこのシステムを本格普及させるための要素技術課題の抽出ができていることから、事業化への大きな見通しが立ったと判断できる。

一方、SOFCとしては世界最高水準の性能が達成されているものの、コストダウンの方策については、更なる検討が必要と考えられる。また、家庭用コジェネレーションに関しては市場規模や成長性がある程度期待できるが、中容量分散電源としての市場性は不明瞭で、既存システムに対する優位性をしっかり示すところまで至っているとは言い難い。

## 研究評価委員会におけるコメント

第34回研究評価委員会（平成25年1月15日開催）に諮り、以下のコメントを評価報告書へ附記することで確定した。

固体酸化物形燃料電池を今後、どこに導入するのが一番優位性が発揮されるのか判断するためには、電気の効率だけでなく、熱の特性、ユーザー特性も良く把握する必要がある。

## 研究評価委員会

委員名簿（敬称略、五十音順）

職 位	氏 名	所属、役職
委員長	西村 吉雄	技術ジャーナリスト
委員長 代理	吉原 一紘	オミクロンナノテクノロジージャパン株式会社 最高顧問
委員	安宅 龍明	元一般社団法人ナノテクノロジービジネス推進協議会 企画運営推進会議 副議長
	伊東 弘一	学校法人早稲田大学 理工学術院 総合研究所 客員教授（専任）
	稲葉 陽二	学校法人日本大学 法学部 教授
	尾形 仁士	三菱電機株式会社 社友
	小林 直人	学校法人早稲田大学 研究戦略センター 教授
	佐久間一郎	国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科 附属医 療福祉工学開発評価研究センター センター長／教授
	佐藤 了平	国立大学法人大阪大学 大学院工学研究科 マテリア ル生産科学専攻（システムデザイン領域担当） 教授
	菅野 純夫	国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科 メディカルゲノム専攻 教授
	宮島 篤	国立大学法人東京大学 分子細胞生物学研究所 教授
	吉川 典彦	国立大学法人名古屋大学 大学院工学研究科 マイクロ・ナノシステム工学専攻 教授

## 第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の「○」「●」「・」が付された箇条書きは、評価委員のコメントを原文のまま、参考として掲載したものである。

## 1. プロジェクト全体に関する評価結果

### 1. 1 総論

#### 1) 総合評価

環境・エネルギー問題解決と安定したエネルギー供給のための技術の一つとして、SOFC（固体酸化物形燃料電池）の開発が国内外で精力的に進められているなかで、NEDO が本プロジェクトを実施した意義は大きい。

本プロジェクトにおける学と産のそれぞれの強みを発揮した実施体制は、学で得られた科学的知見を産での製品の性能改善に迅速に活用できるものである。その成果はセルスタックの劣化機構解明とその成果を活用したメーカーでの劣化改善に活かされ、家庭用 SOFC コージェネレーションの市販に結実したものと大きく評価できる。また、世界最高水準の SOFC-MGT（マイクロガスタービン）ハイブリッドシステムでも高圧運転での信頼性を検証できた成果は大きい。今後、後継プロジェクトにおいても、本プロジェクトで確立された体制を活用する仕組みを継続することを期待する。

しかしながら、国際競争力を確保するためには、技術開発の成果を参画機関より国際特許出願の形で主要先進国に発信するなど、知的財産戦略に改善の余地がある。また、2015 年前後から予定している SOFC の普及拡大において、中容量分散電源用としての SOFC の導入メリットが十分に明確化されておらず、想定する市場に SOFC が適するか精査の必要性がある。

#### 〈肯定的意見〉

- 環境・エネルギー問題解決と安定したエネルギー供給のための技術の一つとして、SOFC の開発が国内外で精力的に進められているなかで、NEDO がエネルギーイノベーションプログラムの下に本プロジェクトを実施した意義は大きい。本プロジェクトでは世界に類を見ない集学的な取り組みを実施し、その成果はセルスタックの劣化機構解明とその成果を活用したメーカーの劣化改善に活かされ、家庭用コージェネの市販に結実したものと大きく評価できる。また、世界最高水準の SOFC-MGT ハイブリッドシステムでも高圧運転での信頼性を検証できた成果は大きい。
- 劣化機構の解明とその改善が適切になされ、本プロジェクトの目標値をおおむねクリアしている。
- 研究体制が基礎から開発へとスムーズに行き届き、それが成果によく繋がっている。特に、三菱重工の大型 SOFC での成果は特筆すべき出来である。
- 産独学の連携と、集学的手法の駆使により、酸化物形燃料電池の耐久性・信頼性という難しい課題に対して、有意義な数多くの成果が得られている。
- 大学、産総研、企業の連携が効率的に進められていると思われる。
- 当初に計画された実施体制が、学と産のそれぞれの強みを発揮する形で運

営され、PL のマネジメントが効果的に機能することが実証された。この実施体制は科学的知見を製品の性能改善に迅速に活用できることから、他事業の手本となると考えられる。

- 本事業では効果的な研究体制により、耐久性に関する当初の目標を達成した型式があり、また課題が明確となった形式でも概ね目標値の達成が見込める可能性がある。したがって、事業全体としては目標を達成出来ている。
- 本事業で確立された強力な産学連携体制を活用することにより、事業化の可能性が高まることが期待できる成果と判断できる。財政的な制約はあると考えるが、後継プロジェクトにおいても、本事業で整備された学における分析手法を活用する仕組みを継続することを期待する。
- コンバインドサイクルとコジェネレーションが、我が国における次世代のエネルギーシステムにとって有力な手段となる可能性を秘めており、本事業で得られた成果を評価したい。
- SOFC の開発も長期に亘っているが、ようやく国内でも実用化が始まった。NEDO の支援下での根気強い開発の努力が稔りつつあり、喜ばしいことである。もう少し現状の体制で開発を進め、実用化領域の幅を広げるよう進めて頂きたい。今期は主に劣化に付いて取り組まれたようであるが、そのメカニズムもだいぶ明らかになってきて、SOFC の基盤技術が充実してきたと言う印象を受けた。
- 今回の事業は、発電後のセルの構造解析とセル性能を結びつける重要な事業であり、成果も大きい。解析結果をセルメーカー側が取り入れて、セルの改善に役立っている。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 学独を中心にすすめている検討結果やその意味が、民間参加機関に十分に伝わり、これを理解して活用するという面で、いささか、問題があるように、見受けられた。価値ある結果を十分に、民間機関に説明し、納得してもらう努力が求められる。
- 開発組織は、産官学のそれぞれの担当者の分担や所掌が明確化されて、非常に判りやすい感じがする。しかし産は産なりに自分の知恵を生かし、学は学なりに論文をまとめながら、それぞれ独自にやって行きたいことも有ると見受けられ、運営には配慮が必要かもしれない。
- 国際競争力を確保するために知的財産戦略に改善の余地がある。
- 2015 年前後から予定している SOFC の普及拡大において、家庭用コジェネに関してはある程度の市場確保の可能性は高いが、中容量分散電源用としての SOFC 導入のメリットが十分に明確化されておらず、想定する市場に SOFC が適するか精査の必要性を感じた。
- 企業の事情があるのかも知れないが、海外展開時に知的財産が確保されて

いる、または商業化の際にビジネス上の問題が起こらないような対策は施されているのだろうか。ノウハウを確保しているので、特許出願が必要はないということでは無いと思われる。

〈その他の意見〉

- 種々の解析結果を総合的に判断できる研究者、技術者がどの程度確保できるかが、今後の推進にとって重要と思われる。
- 本プロジェクトは、国の基盤をささえる重要な研究であり、世界に遅れをとらないように、推進するべきであるが、成果は、民間参画機関より、国際特許出願の形で、主要先進国に発信されるべきである。
- 本プロジェクトで成功した集学的取り組みは、NEDO 内や他の機関のプロジェクトでも活かされるべきものであり、成功事例として PR し広く波及させるべきである。
- 日本の SOFC 開発の成果は海外においても大いに注目されており、その位置を維持し伸ばすためにも、必要な範囲で引き続き開発支援は為されるべきと思う。一方、SOFC 開発の海外との比較に於いて、性能の比較評価が分かりにくいこと、企業に取って国の補助金が必要な理由が今少し明確に示されていないことが気になる（海外展開の覚悟、企業サイドでの技術的課題など）。
- 商品化は緒に付いたばかりである。各商品の稼動はそれぞれが実験装置であると位置づけて、出て来る現象は当たり前のことであるが、今後の開発のために充分生かして頂きたいし、諸外国へもアピールして頂きたいと思う。
- $\text{SrZrO}_3$  の形成を全くなくす技術開発を強く希望する。

## 2) 今後に対する提言

今後、国際競争力を確立するためにはコストダウンが不可欠であり、本プロジェクトで目処が立った性能を維持しつつ、新規なアイデアによるコストダウンを目指す計画が必要である。

また、本プロジェクトでは複数の型式が研究されたが、用途に応じた性能比較により、型式を絞るプログラムを企画することが望ましい。

今後の普及拡大のためには、セルスタックの開発とシステムの開発を両立させていく必要がある。また、日本企業の総合力を挙げていくためには、本プロジェクトに参画していない企業にも共通的・基盤的課題のための研究開発で得られた成果を共有できる仕組みづくりも必要である。

さらに今後は、NEDO プロジェクトでは普遍性のある課題を絞り込む等、社内ですることと国が関与すべきことをより明確に区別して進めることが重要である。世界的に SOFC 開発の動きは活発であり、競争力の維持、確保、及び本格商業化に向けて、発電効率向上、低コスト化、耐久性向上は継続して進めることが必要であり、海外展開を踏まえた将来構想を明確にしておくべきである。

### 〈今後に対する提言〉

- ・ 本プロジェクトの後継プロジェクトがスタートする場合、今回、国内出願された特許が何件、審査請求され、その後、何件特許登録をされたのかを、定期的に追跡調査を行うべきである。
- ・ SOFC はシステムとしての完成度を求められるエネルギー機器であり、今後の普及拡大のためには、セルスタックの開発とシステムの開発を両立させていく必要がある。また、日本企業の総合力を挙げていくためにも、本プロジェクトに参画していない企業にも“共通的・基盤的課題のための研究開発”で得られた成果を共有できる仕組みづくりが必要と感じた。
- ・ 世界的に SOFC 開発の動きは活発であり、競争力の維持、確保、及び本格商業化に向けて、効率向上、低コスト化、耐久性向上は継続して進めることが必要である。報告において、海外展開を踏まえた将来構想を今少し明確にしておくべきではないかと思われる。
- ・ 国際競争力を確立するにはコストダウンが不可欠であり、本事業で目処が立った性能を維持しつつ、新規なアイデアによるコストダウンを目指す計画が必要である。
- ・ 本事業で確立された、産学の密接な連携による研究開発体制と産産間のデータの共有は、SOFC の型式を絞る過程で効果を発揮する可能性がある。したがって、限定した予算内でも、この体制を維持した研究実施体制を維持できるような工夫を期待する。
- ・ 本事業では複数の型式が研究されたが、用途に応じた性能比較により、型

式を絞るプログラムを企画することが望ましい。

- ・ 複合発電システムは、適合する地域においては有力なエネルギー供給源となることが期待されるため、世界的優位性を確保するプログラムを立案されることを望む。
- ・ 国際競争力を確保するために、真に重要な成果の国際特許戦略を構築することが必要である。
- ・ 開発過程で取得したデータや知識、理解したメカニズム、採用したシステム方式など知的ノウハウは、特許にはなりにくい。何らかの形で纏めておき、要求があれば関係者には開示できるようにすべきであると考え。尚ノウハウはメーカーに所属するか、研究者に属するか、国に属するかの明確な区別も必要である。
- ・ 劣化の目標値は今回クリアできたが、まだ最終目標値に達していない。**SrZrO<sub>3</sub>** 形成の完全な抑制が強く望まれる。
- ・ 劣化以外の項目（発電効率、コスト、重工の大型化）を今後専念していただきたい。
- ・ **NEDO** は普遍性のある課題を絞り込む。社内でできることと国が関与すべきことを区別する。
- ・ メーカーは作製したセルの良品、不良品の見分け方を確立する。
- ・ 高温、長時間の加熱で起きる反応が理解されつつあり、それを未然に防止する対策を立てた製品を製造する。
- ・ **SOFC** の燃料が現状、都市ガスに限られており、種々の燃料で性能や耐久性の評価が必要である。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 今回得られた価値ある多くの結果を、次期プロジェクトの中心となると思われるシミュレーションのためのモデルに、できるだけ多く反映させ、価値ある成果が、より、高い成果になるよう、工夫をされることを望む。
- ・ 日本は開発成果が国際的に少数派にされると言う苦い経験を何回かさせられている。**SOFC** システムはどここの国に取っても重要なエネルギー機器であり、国際的な共同実験の実施、長寿命化や低コスト化、それに用途開発とスピーディーな実用化、国際的協議での日本の進捗度や技術のレベルをアピールし、主導的立場を確保すべきである。
- ・ 本プロジェクトでは4万時間の耐久性を目標の一つに掲げているが、普及期には9万時間以上の耐久性の要望がある。この要望を達成するためにも、今暫く **NEDO** 主導の継続的な取り組みが必要と思う。

## 1. 2 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

高いエネルギー変換効率と総合エネルギー効率が期待できる SOFC は、エネルギー資源に乏しい我が国が今後のエネルギー分野での国際競争力に打ち勝って優位な立場を維持するために重要であり、エネルギーイノベーションプログラムの目標達成に大いに寄与するものである。SOFC のように開発期間が長期におよび、かつ多額の資金が必要なプロジェクトは、リスクが高く民間のみによる事業化が困難であることから NEDO 事業として実施することは適切である。

限られた国家予算の中で実施される大規模プロジェクトであるので、今後 PEFC（固体高分子形燃料電池）と SOFC の優位性の比較や、既存システムあるいは他の開発システムに対する SOFC の優位性の分析などを行い、用途を意識した事業目的をもう少し掘り下げる必要がある。

#### 〈肯定的意見〉

- 本プロジェクトはエネルギーイノベーションプログラムの目標達成に大いに寄与する活動であり、今後のエネルギー分野での国際競争力に打ち勝って、日本が優位な立場を維持するためにも本プロジェクトは重要と認識する。SOFC の普及には、技術開発のみならず実証試験、制度の整備及び標準化などを統括しながら進める必要があり、NEDO が関与する必要性は高いと判断する。
- 化石燃料の省使用化と低二酸化炭素化の重要性、及び市場規模の期待からプロジェクトとして支援する意義が高い。
- 国際競争力の優位性を確保し、さらに発展させる必要性もある。）
- 燃料電池の規格・標準化を進めるうえでも重要である。
- 我が国が不退転の決意で取り組むべき、重要な課題であり、事業目的の妥当性は極めて高い。
- 技術的な成果は顕著であるが、SOFC のコストは本格商業化に向けてはまだまだ目標から遠く、今後も NEDO の支援が必須と考えられる。
- エネルギー資源に乏しい我が国には、エネルギーの多様化という課題が課せられている。高いエネルギー変換効率と総合エネルギー効率が期待できる SOFC ではあるが、その開発にはリスクが高く民間のみによる事業化が困難であるため、世界的な優位性を確保するには NEDO 事業として実施することが適切である。
- 高温で作動する SOFC の事業化には長期的な安定性の確保が不可欠である。しかし、従来の開発研究では経験的観点が強く、劣化原因の究明に基づく性能向上を試みた例が皆無であるが、本事業では産学が連携して問題解決を図るが目指され、世界的な開発競争力を確立する目標が設定されて

いることは高く評価できる。

- SOFC のように開発過程で産学の強い連携が必要であり、開発期間が長期におよび、多額の資金が必要なインパクトの大きいテーマでは、民間独自には着手しにくい面がある。国が国家プロジェクトとして主導的に民間を牽引し、広く社会に技術を認識させ根付かせることが必要である。
- SOFC 開発に対する NEDO のリードは、合理的である。高温、長時間での情報収集と解析には、産学の協力が不可欠である。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 本事業で目指す出力や要求事項は、ヨーロッパや米国での事業に比べて厳しい。一方で、事業内容はこれらの国々の事業と類似している。事業の **originality** を高くする必要がある。成果の特許化や論文化に大きな影響を与える。
- PEFC と SOFC の優位性の比較が十分に検討されているとは言い難い。国家的レベルのエネルギー政策が不安定要素を含む中で、システム間の比較は容易ではないとは考えるが、限られた国家予算の中で実施される大規模プロジェクトであるので、用途を意識した事業目的をもう少し掘り下げる必要がある。
- 商品化以後は、国は民間技術のブラッシュアップを支援していく必要はあろうけれども、どこまで国家プロジェクトの形を維持するか、前もって充分検討しておいた方がよいと思う。個別補助金制度でやっていく方法も考えられる。
- 市場動向からみて、成果のうち、どんなに少なくとも良いので、国際特許として、国際市場におけるなんらかの権利を主張することは当然のことであり、この点に関する取り組みが欠けている。
- SOFC の重要性は理解できるが、どのような市場を重要視し、SOFC を導入していこうとするかのターゲット設定の説明がやや不足している。家庭用コジェネ、小規模店舗用、産業用、事業用電源などの言葉は出てくるが、既存システムあるいは他の開発システムに対して SOFC のどのような仕様が市場導入に効果が大いかなかの分析も必要と思う。
- 固体高分子との差異が明確ではない。

#### 〈その他の意見〉

- ・ SOFC は、創エネ機器ではなく原子力を含む従来の熱機関の熱効率を大幅に改善し、環境性を改善する物である。また国内に豊富に存在することが明らかになったメタンハイドレートの活用のための有効な機器でもある。これはエネルギー面で日本の自立を図る意味を持ち、用途と SOFC システムの所要規模サイズを充分検討し、目的別に開発→実証試験→商品化の

プロセスを着実にスピーディーに進める必要がある。

- 継続・発展的に推進すべき課題である。
- 海外においては日本より幅広い応用展開がベンチャー等により検討されているが、日本としては、どのように進められるのだろうか。
- 基礎研究と応用研究が **PL** のリーダーシップにより融合する体制は評価できるが、コスト面での意識がもう少し高ければ、非常に優れた事業と判断できた。
- 原子力発電の将来の不透明さ、再生可能エネルギー利用やスマートグリッドなどへの期待を考慮の上で、**SOFC** 開発を進める意義をより **PR** することが必要と感じた。
- 未検討項目（急起動停止、発電効率、コスト等）を次期プロジェクトで期待する。
- 企業によっては **SOFC** を独自に開発してきており、商品化をはじめた。これまでの社内事業と今回の **NEDO** 事業の境界と関係が、つかめにくいところがあった。きめ細かな政策の進め方が必要な気がする。

## 2) 研究開発マネジメントについて

国内外の SOFC の技術開発動向を踏まえた適切かつ挑戦的な目標設定がなされ、適格なプロジェクトリーダーの下、SOFC 開発のための高い技術力・知識・経験を保有する企業および大学・研究機関で構成されている。また、中間評価結果やプロジェクトの進捗状況を世界的動向と比較して適切に対応した点は高く評価できる。

特に、目標を達成するために、参画したすべての産学組織で情報が共有され、学での性能劣化の原因分析を企業での SOFC の長期安定性の改良に活かしており、事業遂行のマネジメントは非常に優れている。

一方、SOFC の市場導入のためセルスタックの劣化を最重要課題として取り組んでいることは理解できるが、今後、システムで販売していく以上、システム全体でのコスト、性能、劣化や信頼性を評価する必要がある。

### 〈肯定的意見〉

- 国内外の SOFC の技術開発動向を踏まえた適切かつ挑戦的な目標設定がなされている。また、適格なプロジェクトリーダーの下、SOFC 開発のための高い技術力・知識・経験を保有する企業および大学・研究機関で構成され、セルスタックの性能劣化の課題に対して世界でも例をみない集学的な取り組みが行われた点を高く評価する。
- 集学的手法はよく機能しており、学術的に価値ある多くの成果が生まれている。プロジェクトリーダーの手腕が評価される。
- 企業の要求する研究開発項目と産総研、大学の基礎研究との対応が良くできているように感じられる。
- 中間評価を事業計画と体制に反映しており、PL の判断を含めた実施体制は適切である。その背景には、PL が進捗状況を世界的動向と比較して適切に対応したと判断され、事業推進体制の実績は高く評価できる。
- 目標を達成するために、参画したすべての産学組織で情報が共有され、性能劣化の原因を SOFC の長期安定性の改良に活かしており、事業遂行のマネジメントは非常に優れている。
- 開発が必要な要素技術が網羅され、世界的に見ても新規な知見が多く得られている。また、得られた成果を SOFC の事業化に繋げる方向性も妥当である。
- 事業スケジュールは概ね計画通りに進展しており、当初目標も達成できる可能性が高い。
- 今期のフェーズでも開発計画、開発テーマは明確に示され、それに沿った研究開発が行われて成功したと理解している。また各研究者はそれぞれに解析の有力な武器を持ち、開発実施者の要求に充分に応えられたのではないかと思う。

- 基礎研究の成果が企業開発にフィードバックされている。
- 体制がシンプルで妥当である。
- コンソーシアムがよく取れている。
- テーマが集約されている。
- SOFC の劣化を、実機を用いて試験し、その性能や微構造の時間依存性を様々な角度から調査したことは、大変貴重である。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 現状の経済情勢や日本の技術開発の進捗度から見て、海外の開発状況に関する情報と実用化の見通しを的確に掴み、諸国との技術的なバーターも考慮して国家的な負担を軽減することも必要ではないか。またわが国主導の下に国際連携を検討し、日本の開発成果を国際的に有意に持っていく必要がある。
- 前プロジェクトや実証研究の成果から、SOFC の市場導入のためセルスタックの劣化を最重要課題として取り組んでいることは理解できるが、システム面の取り組みにおいて企業への依存度が高くやや弱さを感じた。システムで販売していく以上、システム全体でのコスト、性能、劣化や信頼性を評価する必要がある。
- 寿命以外の課題（小型 SO の急起動、大型 SO の高出力等）が未解決である。
- セルの大きさや形状、加熱温度により劣化機構が異なる。それが明確になった時点で、その課題に対応したきめ細かい研究戦略を練ることはできなかったか。
- 参画チーム間で、得られた価値ある学術成果を有効に、開発に生かせる体制が整っているのか疑問が残る。
- 知的財産に関する方針（特に国際戦略）が明確でなく、開発された成果を活用して世界的をリードする姿勢がやや欠けている。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 東日本大震災後、エネルギー一面での社会情勢は大きく変わっているが、本プロジェクトがその中でどのような影響を受けたか、あるいは受けなかったかの説明も必要と思う。
- ・ 実用化されたことの意義は大きい。
- ・ 学術成果を実用化、事業化につなげるために、より簡単な内容に翻訳するか、または、その成果を開発に生かすためのアドバイスを民間機関に行くべきではないか。
- ・ 企業にいた頃、企業のスピードと研究者側のスピードに大きい落差を感じるようなこともあった。しかしそれは解消されて来たのかも知れない。研

究者側には論文を優先する考え方があるようで、それはある程度止むを得ない。しかし国を挙げての重要なプロジェクトに参画することの意義を認識されて、開発の支援と論文著作とのバランスを図られるよう期待する。

### 3) 研究開発成果について

産学連携によりセルスタックの性能劣化原因の究明と改善への活用が非常に効果的に働き、科学的知見に基づく材料選択や対策等により、長期安定性等の性能が飛躍的に改善されており、世界最高水準の成果が得られている。また、この成果を活用して本プロジェクトの途中で、家庭用コジェネレーションとしての SOFC システムの販売が開始されたことは高く評価できる。

しかしながら、特許申請は基本的に各企業に任せられ、プロジェクト規模や成果に比べて特許の国際出願数が少ない。知的財産権等の取扱いが戦略に沿ってなされているとは言い難く、国際競争力を確保するための戦略的な取組を急ぐ必要がある。

#### 〈肯定的意見〉

- 集学的取り組みによりセルスタックの性能劣化機能の解明において、世界的にもトップ水準の成果が得られ、この成果を活用して本プロジェクトの途中で、家庭用コジェネとしての SOFC システムの販売が開始されたことは高く評価できる。
- 劣化が年ごとに改善されており、基礎、実用研究とも小型・大型で順調である。
- 成果は広く、論文や学会等で公表されている。
- 国際的にも高い水準にあると判断できる。
- セルの性能劣化の要因を製造プロセスとの関係で、大方特定できたことは、大きな成果である。
- 劣化が今期の主テーマであった。期間内に全ての目標を達成できたわけではないが、達成したと見なし得る状況になっていると理解している。早く世の中に成果をアピールし商品イメージを PR するため、デモ用の実働できるシステムを幾つか設置し、稼働させられるようになればよいと思う。
- 若干の計画遂行の遅れがある事業が一部あるが、当初の目標は概ね達成されつつあり、総合的には長期安定性やコスト等の目標が達成される見込みと判断される。
- 本事業で実施された強化された産学連携により、劣化原因の究明と改善への活用が非常に効果的に働き、科学的知見に基づく材料選択や対策等により、長期安定性等の性能が飛躍的に改善されており、世界最高水準の成果が得られている。
- 本事業には多大な予算が投入されたが、費用対効果は概ね妥当である。
- 学術成果の水準（質）、量ともに十分なレベルにある。投入された予算に見合った成果が得られているといえる。
- 論文、発表（口頭、ポスター）などの件数は多い。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 本プロジェクトにおける特許申請は基本的に各企業に任せられ、プロジェクトとしての管理の不十分さを感じた。出来れば NEDO が弁理士を雇用し技術の特許性を分析しつつ、海外特許の必要性も含めて漏れのないよう進めるべきである。
- 石炭ガス化の成果が理解できない。
- 特許の国際出願数が少ない。
- 知的財産権等の取扱が事業戦略に沿ってなされているとは言い難い。
- 特許、特に海外出願が少ない。
- セル性能のバラツキや複数セルの信頼性をどのように評価するのか、その手法が不明瞭である。
- 事業規模や成果に比べて、外国特許の出願数が少なく、国際競争力を確保するため、戦略的な取組を急ぐ必要がある。
- 劣化の原因は大部分材料間の反応に帰するものである。もっと早くから材料面での先行的な研究が有ってもよかったのではないかと思う。無理な要求かもしれないが、基本的な問題は材料であることは判っていた訳で、材料研究者と開発実施者の研究は、必ずしもフェーズが合致してなくても良いのではないだろうか。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 説明を聞いていて、材料問題に関する加速試験法がどの程度実用的か充分には理解できないところがあった。用途によってそれぞれ発生し得る材料の組合せをある程度事前に予知し、時間を掛けて対応する研究を先行的に行うことが重要だと考える。
- ・ 一般的には技術開発の初期に於いては論文が多く、後半になると特許の出願が多くなるが、今回のケースでは、プロジェクト内の研究がどのようなステージにあるためだろうか。
- ・ セルスタックの性能劣化機能の解明に対しては非常に価値ある成果が得られたので、その方法論を国内の他のメーカーにも提供できる仕組みを作ってもらいたい。
- ・ 発電効率がまだ向上できるのではないか。
- ・ 論文の発表は十分に行われているようであるが、事業原簿におけるデータの精度が低い（間違いが散見される）。価値ある成果を正しく事業原簿に記載することが、強く望まれる。

#### 4) 実用化、事業化の見通しについて

家庭用コジェネレーションとしては、SOFC システムの販売が開始され、また、2015 年度頃からこのシステムを本格普及させるための要素技術課題の抽出ができていることから、事業化への大きな見通しが立ったと判断できる。

一方、SOFC としては世界最高水準の性能が達成されているものの、コストダウンの方策については、更なる検討が必要と考えられる。また、家庭用コジェネレーションに関しては市場規模や成長性がある程度期待できるが、中容量分散電源としての市場性は不明瞭で、既存システムに対する優位性をしっかり示すところまで至っているとは言い難い。

##### 〈肯定的意見〉

- 熱サイクルや数千時間の運転による劣化が一定の範囲におさまる事が判ってきた。SOFC システムは、発電機として長期間稼動することが期待されるものである。現状までに実証された範囲はそれに対しては不足であるが、開発途中の成果として受け入れることは出来る。
- 性能面での実用化に必要な要素は明確であり、後継プロジェクトによる事業化への道筋は概ね妥当である。
- 本事業で確立されたマネジメント方策は、世界的にも突出していると判断され、事業化を目指す際に有力な武器となると考えている。
- 大型複合発電システムは、かなり有望である。また、小型セルについても商品化をはじめた企業、あるいはその 1 歩手前の企業もあり、実用化は間違いないであろう。
- 信頼性・耐久性という難しい課題に対して、多くの成果があがっており、成果の実用化可能性は大であると思われる。
- 高効率の発電システムとして、本格実用化に向けて世界に先んじた歩みが得られている。技術的、経済的、社会的波及効果は大きいと考えられる。
- 家庭用コジェネとして SOFC システムの販売が開始されたこと、また、2015 年度頃からこのシステムを本格普及させるための要素技術課題の抽出ができていることから、家庭用コジェネとして補助金に頼ることない事業化への大きな見通しが立ったと判断できる。
- 小型と大型で劣化に対する見通しがついた。
- 基礎研究での学術的波及効果は大きい。

##### 〈問題点・改善すべき点〉

- 最終的な目標に向けた課題、特に材料的な課題については企業研究の場合、仕方が無いのかもしれないが、予算配分を行うならばそれなりの開示が必要とされないのだろうか。今後の応用展開についての考え方が明確には示されていないように思われる。

- 本事業で得られた構成材料を維持すると仮定すると、現状ではコストダウンの方策については、更なる検討が必要と考えられる。
- 家庭用コジェネに関しては市場規模や成長性がある程度期待できるが、中容量分散電源としての市場性は不明瞭で、仕様やコストにおいて既存システムに対する優位性をしっかり示すところまで至っていない。
- 高発電効率化、低コスト化がまだ検討されていない。
- プロジェクト終了後の事業化までの道筋は、出願特許が審査請求されたか、または審査をへて、登録されたかを慎重に注視したデータがないと判断できないことであり、そうした追跡データを集積することが望まれる。
- NEDO プロジェクトとして、SOFC に関する広範囲の技術が組上に上がった。各開発企業の意味を尊重して進めている訳であるが、NEDO としても商品化に責任を持つべき企業のキャパシティーを考慮してテーマ設定をしないと、商品化より開発ばかりを優先している節がある。地道な商品化により信頼性を確認してから更なる開発を進めるほうが良いのではないか。大出力化やコンバインシステムなどに付いて特にそう思う。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 原子力発電を 2030 年代に停止する努力を進めるには、代替システム開発は急務である。このための選択肢の一つとして SOFC の大容量事業用トリプルコンバインドシステムは非常に魅力的である。是非この開発事業が成功するよう NEDO の支援を希望する。
- ・ セルによっては、性能の時間依存性に差があり、それぞれのセルに対する異なる事業化戦略が企業および NEDO に求められる。
- ・ 信頼性・耐久性という難しい課題に対して、受賞もうけており、人材育成等の面からも大きな成果が上がっていると思われる。
- ・ SOFC としては世界最高水準の性能が達成されていることから、この観点では実用化の可能性が高いと言えるが、コスト面での目標値が実用化レベルを見込める程度にはないため、事業化への評価は現状では難しい。
- ・ 「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」では、個々の用途に対する目標が設定された訳ではないので、事業化への評価が現状では難しい。
- ・ 各開発企業の担当者は世代交代が行なわれているように見受けられる。それを見て人材の育成は順調に進められていると理解している。また研究者側に於いても同様だろうと考えている。技術的な波及効果として、精密な材料解析技術は広範囲に応用され得るものである。またセラミックス材料関連の相互反応性及びその防止法、成形加工法などの知識は大幅に増えたと思う。

## 2. 個別テーマに関する評価結果

### 2. 1 基礎的・共通的課題のための研究開発

#### 1) 研究開発成果について

参画したすべての機関が情報を共有して個々の開発に活用したことにより、高温における性能劣化の原因を、空気極、燃料極、抵抗分に分離して解析する手法が確立されており、従来は困難とされていた課題を解決したことは特筆すべき成果である。更にその成果をメーカー側へフィードバックすることにより劣化改善に役立てることができたことは、高く評価できる。また、電圧低下率では目標値を越える成果を実証したセルスタックもあり、世界最高水準のSOFCが実証された。

一方、論文数はかなりの数があるが、知的財産の取り組みが事業主体により異なり、全体的に特許出願件数は少ない。特に海外への出願数はゼロであるなど、国際競争力を確保するために知的財産戦略に改善の余地がある。

#### 〈肯定的意見〉

- 高温における性能劣化の原因を、空気極、燃料極、抵抗分に分離して解析する手法が確立されており、従来は困難とされていた課題を解決したことは特筆すべき成果である。
- 電圧低下率では目標値を越える成果を実証した型式があり、セルスタックでは世界最高水準のSOFCが実証されている。
- 参画したすべての機関が情報を共有して個々の開発に活用しており、汎用的な成果の活用が実現されたと判断できる。
- 国際的な優位性を確保できる可能性が高い成果が含まれており、事業の目標は達成できたと判断される。
- 京セラは産総研や大学と連携が取れている。
- 劣化要因がほぼ解明された。
- 東京ガスも連携が取れている。(劣化解明もされている。)
- 三菱重工の達成度が高い。連携も取れている。
- 耐久性、信頼性向上のための基盤技術コンソーシアムの研究は、内容が良く検討されている。
- 1つ1つの学術的成果は、国際水準にあり、高く評価される。
- 前半のみのテーマに付いては、どこまで成果が上がったのか判然としない点もある。しかし後半期に実施されたテーマに付いては、多くのトラブルに対する対応法が明らかになり成果が認められる。今後は低コスト化と新しく得た材料面の改善点などの知見を実用化し効果を確認する段階であると理解する。
- セルスタックの性能劣化機構の解明については、世界に例をみない集学的な取り組みによって、世界最高水準の多くの有益な成果が得られ、更にそ

の成果をメーカー側へフィードバックすることにより劣化改善に役立てることができ、高く評価できる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 挑戦的な目標であったセルスタックの加速劣化試験法の確立を 100%達成することはできなかった点が残念である。目標設定時には判断できなかった諸々の因子の複雑な影響が明らかになったことは理解できる。目標設定をもう少しマイルドにすべきではなかったかと思う。
- 京セラがどのように改善したかの方策が報告されなかった。
- $\text{SrZrO}_3$  の抑制が抜本的に解決されていない。
- 東京ガスのスタック数がまだ少ない。
- 燃料に水素が使われている。
- 原料や部材の純度、セル性能、低コスト化、の三者の関係は、不明であった。
- 知的財産の取り組みが事業主体により異なり、国際競争力を確保するために知的財産戦略に改善の余地がある。
- 論文数はかなりの数があるが、相対的に特許件数は少ないのではないか。特に海外への出願は0である。今後日本型 SOFC システムがガラパゴス化しないか危惧される。技術を PR し、日本のパフォーマンスとレベルを PR し、規格制定への対応のため、海外への出願は重要ではないかと考える。また日本の成果が世界最高かどうかの判断も、こんな点から判断がなされるのではないか。
- 論文成果などが、正しく、事業原簿に記載されていない点が惜しまれる。今後、改善されることが強く望まれる。

〈その他の意見〉

- ・ 次期プロジェクトにおけるシミュレーションのモデルづくりに、本研究成果が反映されることが望ましい。
- ・ 韓国や中国の追い上げが厳しい状況で、現在の日本の優位性を維持するためには、他分野を含めたより多くの研究者を巻き込む仕組みをつくる必要があるように思う。
- ・ 現状では目標値を達成しない型式も存在するが、その原因となる構成要素は明らかとなっており、今後の進展により目標値を達成する可能性がある。
- ・ 企業側メンバーはやむを得ずとも言えるが新陳代謝されている。しかし委員にはそれがあまり見られない。日本では研究者の層が薄いのかも知れない。

## 2) 実用化、事業化の見通しについて及び今後に対する提言

産業技術として実用化が期待できる型式の SOFC が複数あり、性能面では世界をリードできる成果が得られている。すでにエネファームなどが市販に導入されているものがある。SOFC も実用化のステージに入ってきた。

また、本プロジェクトで確立されたセルスタックの性能劣化機構解明の手法は、今後の SOFC の普及拡大に向けたコスト低減とセルスタック開発の両立にとって有益な手段の一つになる。

一方、事業化に必要な課題はコスト面に集約されるが、現状の技術では SOFC の普及を図る上で十分な水準ではない。本プロジェクトで得られた成果を維持しつつ、コストダウンを検討すれば事業化の可能性がさらに高まることから、今後さらに製造法や材料の見直しなどを進めてほしい。

また、SOFC 普及拡大段階では 9 万時間以上の寿命が求められている。この 9 万時間の耐久性評価に本プロジェクトで確立された手法が適用できる確かな見通しが得られていない。今後の SOFC 事業への企業参入のマイナス面にならないことを希望する。

### 〈肯定的意見〉

- 京セラの SO が普及しつつある。
- 京セラと三菱重工の達成度が高い。
- 実用化のための個々のセルの課題は、かなり明確にされた。
- 実用化、事業化の見通しは、すでにエネファームなどが市販に導入されていることから十分であるといえる。
- エネファームの発売で SOFC も実用化の行程に入ってきた。これで長期稼働実験が出来ると考えられ、これから本格的な商品化のフェーズに移ると言える。小規模な物から商品化し、それを確実な物にして、その実績の上に大型化や複合化を促進することになる。
- 本プロジェクトで確立されたセルスタックの性能劣化機構解明の手法は、今後の SOFC の普及拡大に向けたコスト低減とセルスタック開発の両立にとって有益な手段の一つになると判断できる。また、原料・部材の低コストについても、材料メーカーとスタックメーカーが協力して実施し、普及段階におけるコストの有意義な検討が出来たことは評価できる。
- 産業技術として実用化が期待できる型式が複数あり、性能面では世界をリードできる成果が得られている。
- 事業化に必要な課題は、コスト面に集約されるが、本事業で得られた成果を維持しつつ、コストダウンを検討すれば事業化の可能性がさらに高まる。したがって、NEDO 事業としての後継プロジェクトの方向性を明確にした点が高く評価できる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 現状の技術では、コストは SOFC の普及を図る上で十分な水準ではないと考えている。コストダウンのためには、まだまだ製造法や材料の見直しなどを要すると考えられる。
- 事業化の壁になっている箇所は、評価概要でも分科会当日の presentation でもよく理解できなかった。
- エネファーム開発に携わっていない他の応用チームの目に見える形の事業化の見通しを示していただきたかった。
- 事業化に必要な課題は、コスト面に集約されるが、この観点での目標を事業途中においても高める必要があった。
- 4万時間の寿命に対しては、本プロジェクトで確立された評価方法が有用であることが示されたが、SOFC 普及拡大段階では 9万時間以上の寿命が求められている。この 9万時間の耐久性評価に本プロジェクトで確立された手法が適用できる確かな見通しが得られていない。今後の SOFC 事業への企業参入のマイナス面にならないことを希望する。
- 空気極にコバルトが使用されている。
- 発電効率が低いのではないか。

〈今後に対する提言〉〈その他の意見〉

- ・ セルスタックの耐久性・信頼性向上のための基礎研究では、多くの貴重な知見が得られており、次期プロジェクトにおいても継続して実施されることを望む。
- ・ 発電効率とコストの課題を続けて行っていただきたい。
- ・ 特許審査請求、国内特許登録、国際特許出願（U S A, E U）を必ず実施すべきである。
- ・ NEDO で SOFC の開発を現在も続けている企業は、社内技術者の育成や商品化のシナリオを持っていると思われる。しかし今後も商品として成立させるためには多くの努力が必要であり、NEDO の支援や補助金は有った方がよいのではないか。

## 2. 2 実用性向上のための技術開発

### 1) 研究開発成果について

セルスタックでは、7000 時間の運転で電圧低下がほぼ無い実証データが得られ、4 万時間運転での目標値を達成できる見通しを得た。また、高圧運転技術では、信頼性を得るための要素技術を確立して充填カートリッジまでの発電性能検証実験を終了し、起動停止技術開発では、効率的な運転方法や水素窒素レスでの起動停止技術などを確立した点は評価できる。

一方、本プロジェクトの中でも重要なテーマである 250 kW 級 SOFC - MGT の実証運転が予定より少し遅れ評価分科会開催日時点では開始されていないが、今後、発電試験を早期に開始し、可能な限り長期で実施してほしい。

また、世界的にも事例の少ないシステムの開発に成功しつつあるが、特許出願は国内に限定され、知的財産の世界戦略の指針が弱い。

#### 〈肯定的意見〉

- 超高効率運転のための高圧運転技術に関しては、高圧運転技術の信頼性を得るための要素技術を確立し、充填カートリッジまでの発電性能検証実験は終了しており、残りの期間での 250kW 級 SOFC-MGT の発電試験成果が大いに期待される。運用性向上のための起動停止技術開発では、効率的な運転方法（1/3 負荷運転による HSS）や水素窒素レスでの起動停止技術などを確立できた点を評価する。
- スタック、モジュールともに目標を達成している。
- 体制がいい。
- 加圧の検討もされている。
- 大型の複合発電システムは、成功に近い状況にある。
- 近い将来、今回得られた価値ある成果が、実をむすび、目標達成がなされるものと大いに期待できる。
- セルスタックでは、7000 時間の運転で電圧低下がほぼ無い実証データが得られており、4 万時間運転での目標値を達成できる見通しを得ている。
- 加圧試験、起動停止等の安全性を実証し、かつ高圧下での電圧や温度分布についても知見を得て、コンバインドシステムの運転に備えている。
- 国内に限定すれば、十分な特許出願がなされている。
- 成果の普及に付いて考えると、エネルギーや電気化学に関与する人々の間には、例えば燃料電池・水素フォーラムみたいな展示会や SOFC 研究発表会などで、充分 SOFC とその技術開発の進展具合が PR されている。ここには多くの企業人が集まっており、多くの企業にかなりの情報量が発信されていると思う。

〈問題点・改善すべき点〉

- 自社技術は秘匿するのが企業の手法である。SOFC システムに付いては形にして小型の実働モデルでも作って公開しなければ、一般には認識されにくい。これは NEDO の役割ではないかと思う。
- 250kW 級 SOFC-MGT の発電試験の成果は本プロジェクトの中でも重要なテーマであり、この事後評価時点までには発電試験を開始し、少なくとも初期性能を提示すべきであった。また、4 万時間の耐久性を見通すためにもある程度の長期試験を必要とすることは明らかにも関わらず、計画全体が遅れていることは残念である。
- コンパクト化が必要。
- コストの問題。
- 価格的な問題があるが、実機の台数を増やして信頼性を高める努力が必要であろう。
- 世界的にも事例の少ないシステムの開発に成功しつつあるが、知的財産の世界戦略の指針が弱い。
- 燃料電池デバイスに、実際に電位を印加したうえで、詳細な解析を行う、その場観察手法を取り入れることが望ましい。

〈その他の意見〉

- ・ 250kW 級 SOFC-MGT の発電試験を早期に開始し、可能な限り長期で実施されることを希望する。
- ・ 現象のモデル化、シミュレーションの具体的な内容を、今後の展望として、ある程度は、示すべきであったように感じる。
- ・ 250 kW 級 SOFC - MGT の実証運転が開始されていないため、システム全体としての成果については、目標を達成する可能性が高いと推測されるが、実証データを待って評価する必要がある。
- ・ 一般に普及する前提は市場の信頼を得ることである。そのためには PR が必要である。私も燃料電池の実験を小中高生の前で行なうが、SOFC は高温が邪魔して対象にしにくい。いつも AFC、PEFC などが対象になる。SOFC のデモンストレーションを行なえる場がほとんどないのは残念である。

## 2) 実用化、事業化の見通しについて及び今後に対する提言

本プロジェクト終了後の平成 25 年度から SOFC-MGT ハイブリッドシステムがユーザーに提供され、更には産業用・事業用 SOFC システムとして発展させていくシナリオが描かれている。高温作動の SOFC のコンバインドシステムは世界的にも成功事例が皆無であるが、本システムの実用化の目処が立てば、エネルギーシステムのプランニングに影響を及ぼす可能性があり、社会的な波及効果が期待される。

しかし、事業化には 250 kW 級の現在の実証機よりも、さらにコンパクト化を図る必要がある、コストダウンに向けても本格的な検討が求められる。また、中容量分散電源市場に SOFC が参入していくためには、発電効率だけでは魅力に欠け、設備コスト、メンテナンスコスト、設置面積、利便性なども含めて、市場導入性の精査が必要である。

### 〈肯定的意見〉

- 高温作動の SOFC のコンバインドシステムは世界的にも成功事例が皆無であるが、実用化への課題と目標も明確である。
- 本システムの実用化の目処が立てば、エネルギーシステムのプランニングに影響を及ぼす可能性があり、社会的な波及効果が期待される。
- 劣化の問題が解決されている。
- スタックの充填化も検討されている。
- MGT との相性も検討されている。
- 実用化への目途がついた。
- 高温、長時間の加熱で起きる反応が理解されつつあり、それを未然に防止する対策を立てた製品を製造することが可能となった。
- 本プロジェクト終了後の平成 25 年度から SOFC-MGT ハイブリッドシステムがユーザーに提供されること、更には産業用・事業用 SOFC システムとして、次期 NEDO プロジェクトの中で、中容量分散電源用を経て大容量事業用へ発展させていくシナリオが描かれ、事業化への道筋が定まっていると評価できる。
- 世界のトップ水準の研究開発を実施しているといえる。
- 事業化までのシナリオは開発担当企業に任せる方が良いと思う。しかし NEDO としてはある時期まで事業化を促進させる為、商品化までの改良開発の補助金、市場でのユーザーに対する補助金などの開設、世界相手の規格制定に対する支援、輸出相手国への PR、市場調査その他の支援が必要である。

### 〈問題点・改善すべき点〉

- 中容量分散電源市場に SOFC が参入していくためには、発電効率だけで

は魅力に欠ける。設備コスト、メンテナンスコスト、設置面積、利便性なども含めて、市場導入性の精査を望む。

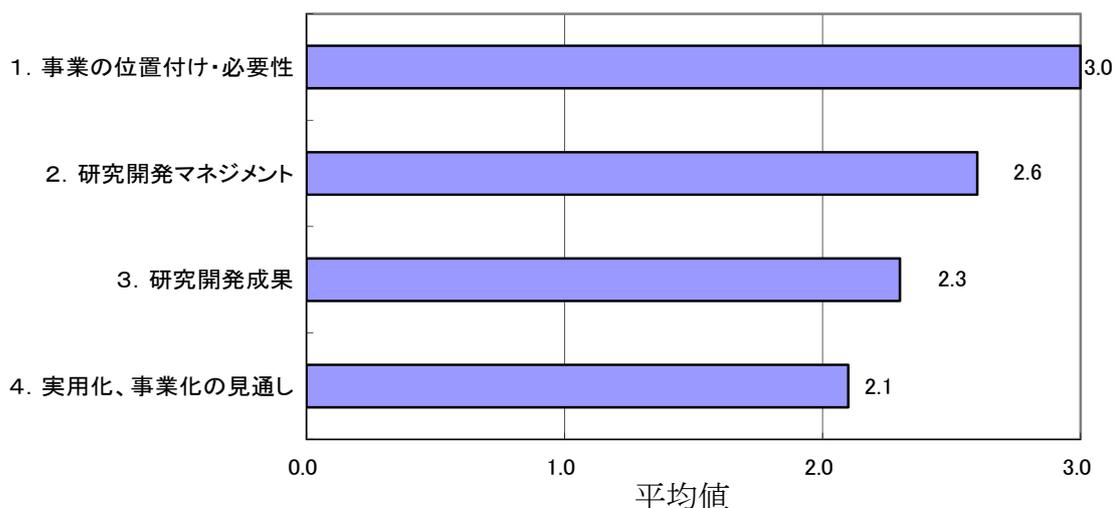
- コストと高出力化に課題が残る。
- メーカーは作製した時点で、セルの良品、不良品の見分け方を確立する。
- 国際特許戦略に関する面の欠如を補う必要がある。
- 事業化には **250 kW** 級の実証機よりも、さらにコンパクト化を図る必要がある、今後の課題として挙げられる。
- コストダウンに対する指針は必ずしも明確ではなく、事業化に向けて本格的な検討が求められる。
- 事業化を奨励するだけでなく、そのチェックも必要で、多額の国家資金を掛けた開発が必ず実るようもっていく責任の一端は経産省と NEDO にあると思う。

〈今後に対する提言〉〈その他の意見〉

- ・ SOFC プロジェクトにより、多くの材料・エネルギー研究者にとってセラミックス材料がより身近になったものと思う。セラミックス材料の機能を生かしたセンサーなどがさらに増えてくることも期待される。
- ・ NEDO は今後、普遍性のある課題を絞り込む。社内でできることと国が関与すべきことを区別する。
- ・ SOFC の燃料が現状、都市ガスに限られており、種々の燃料で性能や耐久性の評価が必要である。
- ・ 論文は国際誌で採択されているので、特許もまた、国際市場で成立していることが、必須である。
- ・ 現時点で中容量・大容量を目指す企業は国内で 1 社のみのものであるが、競争原理を働かせより良い機器・サービスを提供するためにも、他企業の参入を希望する。

### 3. 評点結果

#### 3. 1 プロジェクト全体



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	A	A	A	A	A
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.6	B	A	A	B	A	B	A	A
3. 研究開発成果について	2.3	B	B	B	B	A	A	A	B
4. 実用化、事業化の見通しについて	2.1	A	A	B	B	B	B	B	C

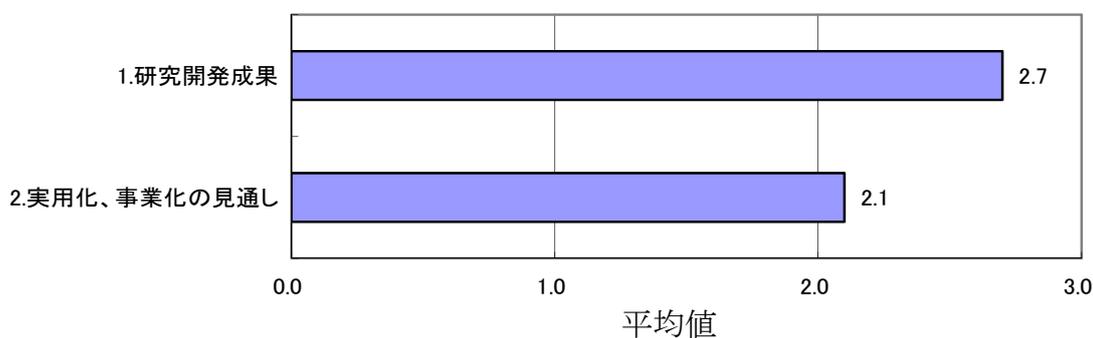
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

#### 〈判定基準〉

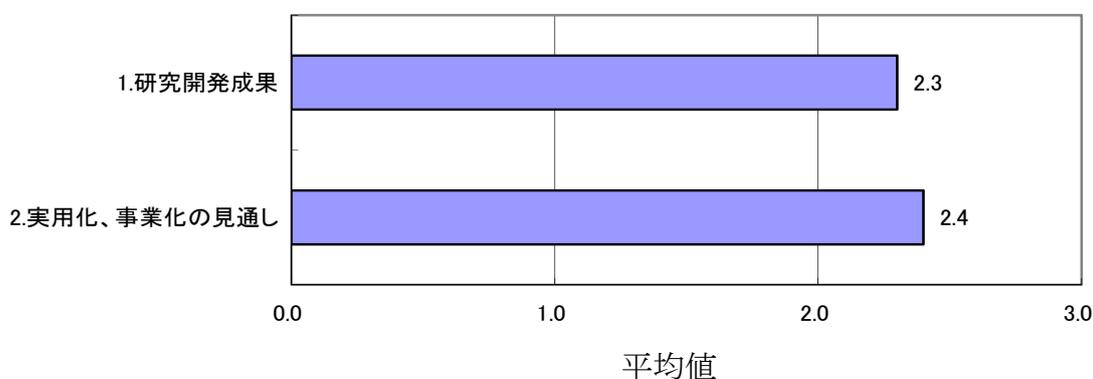
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

### 3. 2 個別テーマ

#### 3. 2. 1 基礎的・共通的課題のための研究開発



#### 3. 2. 2 実用性向上のための技術開発



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)							
3. 2. 1 基礎的・共通的課題のための研究開発									
1. 研究開発成果について	2.7	B	A	A	A	A	A	A	B
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.1	A	A	B	B	B	B	B	C
3. 2. 2 実用性向上のための技術開発									
1. 研究開発成果について	2.3	B	B	A	B	A	B	A	B
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.4	A	B	A	A	B	B	B	B

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

#### 〈判定基準〉

##### 1. 研究開発成果について

- ・非常によい
- ・よい
- ・概ね適切
- ・適切とはいえない

##### 2. 実用化、事業化の見通しについて

- A ・明確
- B ・妥当
- C ・概ね妥当であるが、課題あり
- D ・見通しが不明

## 第2章 評価対象プロジェクト

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

# 「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」

## 事業原簿

【公開】

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部
-----	------------------------------------

## - 目 次 -

### 概要

### プロジェクト用語集

#### I. 事業の位置付け・必要性について

- 1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性…………… I-1
  - 1.1 NEDO が関与することの意義…………… I-1
  - 1.2 実施の効果…………… I-7
- 2. 事業の背景・目的・位置づけ…………… I-9
  - 2.1 事業立案時点における背景…………… I-9
  - 2.2 SOFC 普及に向けた技術開発課題…………… I-12
  - 2.3 海外における SOFC 開発動向…………… I-16
  - 2.4 標準・規格・基準に係る状況…………… I-22
  - 2.5 事業の目的・位置付け…………… I-24

#### II. 研究開発マネジメントについて

- 1. 事業の目標…………… II-1
- 2. 事業の計画内容…………… II-2
  - 2.1 研究開発の内容…………… II-2
  - 2.2 研究開発の実施体制…………… II-10
  - 2.3 研究の運営管理…………… II-11
  - 2.4 研究開発の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性…………… II-16
- 3. 情勢変化への対応等…………… II-16
- 4. 中間評価結果への対応…………… II-17
- 5. 評価に関する事項…………… II-18

#### III. 研究開発成果について

- 1. 基礎的・共通的課題のための研究開発…………… III-1-1
  - 1.1 耐久性・信頼性向上のための基礎開発…………… III-1-1
  - 1.2 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発…………… III-1-83

1.2.1 耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ材料の開発	Ⅲ-1-83
1.2.2 セルスタック材料の低コスト化技術開発	Ⅲ-1-87
2. 実用性向上のための技術開発	Ⅲ-2- 1
2.1 運用性向上のための起動停止技術	Ⅲ-2- 1
2.1.1 運用性向上のための起動停止技術（高温円筒縦縞型）	Ⅲ-2- 1
2.1.2 運用性向上のための起動停止技術（中温円形平板型）	Ⅲ-2-10
2.2 超高効率運転のための高圧運転技術	Ⅲ-2-18

#### IV. 実用化、事業化の見通しについて

1. 実用化、事業化の見通しについて	IV- 1
2. 波及効果	IV- 4

（添付資料）

- ・ イノベーションプログラム基本計画
- ・ プロジェクト基本計画
- ・ 技術戦略マップ（分野別技術ロードマップ）
- ・ 事前評価関連資料（事前評価書、パブリックコメント募集の結果）
- ・ 特許論文リスト

## 概要

		最終更新日	2013年1月9日
プログラム（又は施策）名	エネルギーイノベーションプログラム		
プロジェクト名	固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発	プロジェクト番号	P08004
担当推進部/担当者	新エネルギー部 担当者氏名 山本将道、町井謙二、堀内賢治（2013年1月現在） （過去の担当者） 細井敬、中原貢、伊藤正紀、深江守、高橋（康）、小林（晋）、横本		
0. 事業の概要	固体酸化物形燃料電池（SOFC）は、他の発電システムに比べて発電効率が高く、また天然ガス・石炭ガス化ガス等多様な燃料に対応が可能であり、小規模分散型から大規模火力代替システムまで広い適応性を有している。本事業は、SOFCシステムを早期に市場導入するために必要な基礎研究と要素技術開発を実施して、その基盤技術を確立することを目的とする。そのため、実用化・普及に必要な耐久性・信頼性向上、低コスト化等の課題を解決するための基礎的・課題に関する研究開発、およびSOFCシステムの実用性を向上させる要素技術（運用性向上のための起動停止技術、超高効率発電のための高圧運転技術）の開発を行う。		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p><b>(1) 政策上の位置付け</b></p> <p>我が国が持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及により世界に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組むことが不可欠であるが、エネルギー技術開発には長期期間と大規模投資を必要とするとともに将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的に取り組むことは容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方が方向性を共有することで、長期にわたり軸のぶれない取組の実施を可能にすることを目指し、「エネルギーイノベーションプログラム」が制定されている。本事業は、この「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施する。</p> <p><b>(2) NEDOが関与する意義</b></p> <p>SOFCシステムの実用化のためには、セルスタックの劣化機構の解明と信頼性・耐久性の向上が不可欠であるが、高温下での物資拡散・反応、構造変化、セラミックスの機械的特性、不純物の影響などを総合的に把握する必要がある。その技術的難易度は極めて高いため、実用化へ向けた課題抽出・試作改善を行う産業界と、劣化機構に関する集学的な解明を行う学術界の緊密な連携が不可欠である。</p> <p>さらに、NEDOが本事業と並行実施している「固体酸化物形燃料電池実証研究」（2007～2010年度）ではSOFCシステムを一般家庭等の実負荷環境下に設置し、普及に向けた技術課題を抽出したが、ここで得られた知見をセルスタック改良に活用する必要がある。また、SOFCシステムの商用化のためには、関連法令などの整備、規格制定、標準化が必要であるが、関連法規の規制緩和（2010年度完了）、SOFCの安全試験法および性能試験法のJIS化及び国際標準化（2010年第1版制定、現在第2版改訂検討中）は、NEDOの関与の元に行われている。</p> <p>上述のように、SOFCシステムの普及には、産学の緊密な連携体制の元に技術的難易度の高い劣化機構解明を行うことが必要なこと、技術開発・実証・制度整備・標準化を一体的に実施する必要があることから、民間企業の活動のみでは十分な成果は見込まれず、新エネルギー・省エネルギーに係る国家プロジェクトをマネジメントするNEDOの関与が不可欠である。</p> <p><b>(3) 実施の効果</b></p> <p>2009年に（株）富士経済が実施した国内市場規模の予測によると、2025年の市場規模は家庭用SOFCが2,340億円（導入台数60万台）、業務・産業用SOFCが123億円（導入台数2,100台）となっている。</p> <p>平均的な電力需要の一般家庭にSOFCシステムを設置した際のCO<sub>2</sub>削減量は約1.3トン/月となる。これに上記した2025年の家庭用SOFCの市場規模を当てはめると、年間78万トンのCO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。また、電力事業用SOFCであれば、高効率天然ガス火力発電としてのFC/GTハイブリッド発電および高効率石炭火力発電としてのIGFCで約30%のCO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。</p>		

II. 研究開発マネジメントについて

<p>事業の目標</p>	<p>S O F Cシステムを早期に市場導入するために必要な基礎研究と要素技術開発を実施して、その基盤技術を確立することを目標とする。</p> <p>研究開発項目・テーマとその最終目標（2012年度末）を以下に示す。</p> <p>研究開発項目①「基礎的・共通課題のための研究開発」</p> <p>(a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究 4万時間および起動停止250回の耐久性の見通し。加速劣化試験法の確立。</p> <p>(b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発 普及期のセルスタック製造コストとして5万円/kW程度の見通し。</p> <p>研究開発項目②「実用性向上のための技術の確立」</p> <p>(a) 運用性向上のための起動停止技術 4万時間および起動停止250回の耐久性の見通し。</p> <p>(b) 超高効率運転のための高圧運転技術 4万時間の耐久性の見通し。超高効率運転のための高圧運転技術の確立。</p>						
<p>事業の計画内容</p>	<p>主な実施事項</p>	<p>2008fy</p>	<p>2009fy</p>	<p>2010fy</p>	<p>2011fy</p>	<p>2012fy</p>	<p>総額(百万円)</p>
	<p>耐久性・信頼性向上のための基礎研究</p>	<p>1,014</p>	<p>960</p>	<p>496</p>	<p>265</p>	<p>265</p>	<p>3,000</p>
	<p>原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発</p>	<p>181</p>	<p>171</p>	<p>122</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>474</p>
	<p>運用性向上のための起動停止技術</p>	<p>59</p>	<p>69</p>	<p>21</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>149</p>
	<p>超高効率運転のための高圧運転技術開発</p>	<p>114</p>	<p>125</p>	<p>274</p>	<p>337</p>	<p>394</p>	<p>1,244</p>
<p>開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)</p> <p>契約種類： ○をつける (委託) 助成 ( ) 共同研究 (負担率 ( ))</p>	<p>会計・勘定</p>	<p>2008fy</p>	<p>2009fy</p>	<p>2010fy</p>	<p>2011fy</p>	<p>2012fy</p>	<p>総額</p>
	<p>一般会計</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p></p>
	<p>特別会計(需給)</p>	<p>1,293</p>	<p>1,140</p>	<p>760</p>	<p>602</p>	<p>605</p>	<p>4,400</p>
	<p>加速予算(加速(補正))</p>	<p>75</p>	<p>185</p>	<p>153</p>	<p>0</p>	<p>54</p>	<p>467</p>
	<p>総予算額</p>	<p>1,368</p>	<p>1,325</p>	<p>913</p>	<p>602</p>	<p>659</p>	<p>4,867</p>
	<p>(委託)</p>	<p>1,195</p>	<p>1,131</p>	<p>618</p>	<p>265</p>	<p>265</p>	<p>3,474</p>
	<p>(助成) : 助成率△/□</p>	<p></p>	<p></p>	<p></p>	<p></p>	<p></p>	<p></p>
	<p>(共同研究) : 負担率1/2</p>	<p>173</p>	<p>194</p>	<p>295</p>	<p>337</p>	<p>394</p>	<p>1,393</p>
<p>開発体制</p>	<p>経産省担当原課</p>	<p>省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー対策課 燃料電池推進室</p>					
	<p>プロジェクトリーダー</p>	<p>(独) 産業技術総合研究所 横川晴美 招聘研究員</p>					
	<p>委託先</p>	<p>独立行政法人産業技術総合研究所 (共同実施：京セラ、東京ガス) 財団法人電力中央研究所 T O T O株式会社 三菱マテリアル株式会社 関西電力株式会社 三菱重工業株式会社 国立大学法人 東北大学 国立大学法人 東京大学 国立大学法人 名古屋大学 国立大学法人 岐阜大学 国立大学法人 京都大学 国立大学法人 九州大学 日立金属株式会社 共立マテリアル株式会社 AGC セイメケミカル株式会社</p>					
<p>情勢変化への対応</p>	<p>特になし</p>						

評価に関する事項	事前評価	2008年度実施 担当部 燃料電池・水素技術開発部
	中間評価	2010年度 中間評価実施
	事後評価	2012年度 前倒し事後評価実施予定

### 研究開発項目①「基礎的・共通的課題のための研究開発」

#### (1) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

各SOFCスタックについて、数千時間程度の長期間運転並びに起動停止実験を行い、発電特性と伴に試験後のセルスタックについて、熱力学的解析、化学的解析及び機械的解析により劣化機構の解明とその対策立案に必要なデータの蓄積と評価を進めた。特に電気化学的性能に大きな影響を与える三相界面については、劣化現象と微細構造変化の相関付けを定量的に行うなど、貴重なデータを取得した。

具体的には、不純物蓄積濃度、界面元素移動量などを2次イオン質量分析計(SIMS)で測定して、反応速度論データの取得と相平衡計算、実験により劣化基礎データを集積した。また、SO<sub>2</sub>被毒、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>被毒を空気極に対して劣化機構解明を行い、劣化を左右する要因として供給量の他にも発電条件(セリア中間層使用の有無、電流密度、過電圧等)に依存することを見いだした。

固体酸化物形燃料電池の耐久性・信頼性向上のために、熱力学的解析、化学的解析及び機械的解析により、劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立を目指す。特に電気化学的性能に大きな影響を与える三相界面については、劣化現象と微細構造変化の相関付けを行う。

集束イオン・電子ビーム加工観察装置(FIB-SEM)による三相界面電極構造の変化と劣化との相関検討、透過電子顕微鏡(STEM)による微小領域における化学変化・構造変化の解析、種々の機械的性質の測定と解析を実機セルに適用し、共通的特徴を明らかにする伴に個別スタック毎の特徴を明らかにした。

また、各セルスタックの電圧低下とその劣化因子のパラメータとの関係を明らかにしながら、余寿命評価のための基礎式の構築を図った。

スタックの劣化挙動についての共通的特徴を製造工程との関連で見いだした。最終工程で製膜される電極に劣化が現れることが多いことを明らかにすることによって、これら電極の劣化を大幅に改善することに成功した。抵抗成分の増大効果については個別寄与毎に検討しその寄与を見積もった。特にセリア中間層中に生じるSrZrO<sub>3</sub>の3次元的配置をFIB-SEM、STEMで観測することにより伝導度低下を定量的に評価する手段を得た。またYSZ電解質中で生じる立方晶から正方晶に伴う相変態をラマン分光で詳細に検討し、稼働温度、電極過電圧による酸素ポテンシャル分布のシフトがわかれば、伝導度がどの程度低下するかを評価する手段を得た。また機械的信頼性確保のため、稼働状態ならびに起動停止状態におけるセルスタック内での応力分布の解析あるいは変形挙動解析を行い、健全性を確認した。

実機セルで最も懸念される劣化として空気極のクロム被毒があるが、実証研究に供した筒状平板形のセルならびにマイクロガスタービンとのハイブリッド運転を3000時間行った円筒縦縞形セルでは、空気極・電解質界面にクロムは到達していないことを確認し、実機環境下ではクロム被毒による寿命低下は極めて小さいことが確認された。

#### (2) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

##### (a) 金属インターコネクター材料の開発

インターコネクターの薄膜化及び耐久性向上に関する研究開発を行い、これまでに以下の成果が得られた。

##### 1) 合金組成の改良(耐酸化性の向上)

1次改良材のMn量を増加させることにより、Cr蒸発を低減できるとともに、現状材(ZMG232L)より良好な耐酸化性、接触抵抗(1/2以下)を得ることができた。

##### 2) 表面処理適用による改良(Cr蒸発の抑制)

2次改良材にMnCoスピネルコーティングを適用し、Cr蒸発の大幅な抑制ができた。但し、コーティング膜中へのCrの拡散が観察された。

##### 3) 発電試験評価

コーティングを実施した現状材および2次改良材を用いて、3タイプのセルスタック(平板形、円筒平板形、マイクロチューブ形)にて発電試験を実施し、合金組成の影響の把握。た、Cr蒸発に及ぼす酸化膜の影響を確認し、改良の方向性に関する知見を得た。

##### 4) 通電効果メカニズム

現状材ZMG232Lは、Fe-22Crモデル合金より酸化速度が遅かったが、モデル合金と同様、高電位側より低電位側の酸化膜成長が促進される傾向が見られた。

##### (b) セルスタック材料の低コスト化技術開発

スタックメーカーと材料メーカーが協力し、スタックコスト5万円/kWの可能性に関する検討及び各種試験を行い、これまでに以下の成果及び見通しを得た。

##### 1) 低コスト化への取組方針の決定

目標コスト(5万円/kW)のスタックを実現するには、材料メーカーでは低価格出発原料の使用と製造工程改善が、スタックメーカーではセル高出力化、歩留向上、工数低減が挙げられた。また、仕様共通化や製造工程の共有化によるコストダウン効果も必要である。

##### 2) 低コスト化材料の開発

固相法と液相法のそれぞれで低コスト化に取組み、材料を試作した。固相法では、主に低価

### III. 研究開発成果について

格出発原料と媒体攪拌ミルの使用を検討し、液相法では、主に低価格出発原料と粉碎溶媒の低コスト化を検討した結果、両製法ともに目標コスト達成の見通し、及び各製法で製造工程共通化の見通しが得られた。

課題として、低価格原料に含まれる微量成分の影響を評価して許容値を把握すること、粒度調整粉の高密度化、粉碎工程の改善、仮焼条件の調整（低温度化、時間短縮）が抽出された。

### 3) スタックメーカーによる材料評価、材料共通仕様化の検討

空気極材料のLSMとLSGMは基礎物性が良好であり、組成及び出発原料の共通化の可能性が示された。SSCはセル評価で初期性能、耐久性ともに良好な結果が得られ、LSM、LSGMとの製造工程共通化を検討している。LSCFでは組成ずれや微細粒子が焼結特性に与える影響が課題として抽出された。

燃料極材料のNi-セリア系は初期性能が良好であり、出発原料の共通仕様化の可能性が見出された。Ni-YSZでは異常粒成長が観察され、微量成分の影響の調査が必要であり、出発原料の見直しを含めた詳細検討が必要である。

## 研究開発項目②「実用性向上のための技術開発」

### (1) 運用性向上のための起動停止技術

#### (a) 高温円筒縦縞形燃料電池システムの起動停止技術

10kW級のSOFCシステムの性能及び運用性を確保するために、システムへの熱サイクル負荷が大きい起動停止の発電試験及び実証試験を通じて以下の成果が得られた。

##### 1) 運転要因

起動停止条件でのシミュレーションを行い、起動停止時の部材間温度差によるスタック集電部材の剥離現象の可能性を確認した。また、CSSスタック試験により、起動停止時の加熱冷却量とスタックの性能低下の相関を検証するとともに、起動時および停止時のガス温度・流量を段階的に増減させることで、集電部材の剥離応力低減の可能を見出した。

##### 2) 構造要因

フレームで固定したスタック構造により、スタック集電部材の密着が向上し、熱サイクルによる性能低下を大幅に低減することができた。また、モジュールの構成要素である燃料分散構造・空気分散構造・ロッド気密構造・ロッド絶縁構造の要素試験からは、熱サイクルによる性能への劣化影響は少ないことを確認した。

上記の運転要因および構造要因の評価結果からCSS条件での目標達成の見通しを得た。

#### (b) 中温円形平板形燃料電池システムの起動停止技術

起動停止に伴う電圧低下の要因を抽出し、それらの対策を実施した。各対策の効果は確認できたものの、起動停止試験ではセルの劣化・破損が発生するなど解決すべき課題がある。

##### 1) 電圧低下の要因を抽出

- ・放熱板等の電気抵抗の増加
- ・放熱板上下セルの電圧低下
- ・スタック内温度差拡大等

##### 2) 電圧低下対策を実施し、効果を確認

- ・空気供給系の不具合があり、起動停止による電圧低下率は8.5%/25回  
(目標値：1.0%/25回)

##### 3) 緊急停止方法として、都市ガスや水素窒素などを用いずに、電圧低下を抑えて、装置を停止する方法を確立。

### (2) 超高効率運転のための高圧運転技術

#### 1) セルスタック要素技術開発

燃料極高酸素分圧暴露時のセルスタック損傷防止のため、インターコネクタ高密度化等の改良を行ったセルスタックを試作、発電試験を実施した。燃料側還元性ガスが停止しても900℃で6時間以上は亀裂発生に至らず、実運用条件ではそれまでに冷却すればよい。改良セルを実証機セルスタックとして製造した。

#### 2) モジュール要素技術開発

高圧運転対応・コンパクト化のために密充填構造のモジュールを計画し、最小単位のカートリッジ発電試験を実施した。発電特性・伝熱特性とも計画通りで、発電室温度を850~950℃としたとき、端部の金属製燃料ヘッダの温度を600℃以下にできることを確認した。密充填構造のモジュールを制作した。

#### 3) 複合発電システム要素技術開発

継続研究で使用したSOFCモジュールとトヨタ自動車製マイクロガスタービン(MGT)を連携したシステム試験として、起動・定常運転・緊急停止を実施した。保護動作は正常に働き、SOFC・MGTを損傷することなく安全に運転停止可能であることを確認した。実証機システムの設計・製作を終え、運転試験を行う予定である。

	投稿論文	159件
	特許	「出願済」56件 (うち国際出願0件)
	その他の外部発表	「研究発表、講演」752件、「展示会への出展」4件
IV. 実用化、事業化の見通しについて	<p>本事業及び「固体酸化物形燃料電池実証研究」の研究成果により、SOFCシステムの技術的信頼性が向上し、2011年10月にJX日鉱日石エネルギー(株)が、2012年4月に大阪ガス(株)が、家庭用SOFCコジェネレーションシステムの一般発売を開始した。但し、本格普及には、さらなる信頼性の向上及び低コスト化が必要である。</p> <p>SOFC-MGTハイブリッドシステムについては、本事業での実証機検証を経て、2013年度からの実用化を見込んでいる。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	2008年3月 作成
	変更履歴	2009年3月 改訂 (研究項目名称の変更) 2011年3月 改定 (研究項目の一部前倒し終了及び中止)

## プロジェクト用語集

用語	説明
圧力容器	円筒形セルを加圧状態にする容器。
カートリッジ	円筒形セルを集合させて燃料/空気の供給/集電を行う最小ユニット。
カレントインターラプター法	電池の発電状態から高速電流遮断器を用いて負荷を遮断し、測定電圧の時間応答特性により電気抵抗成分と物質移動抵抗成分に分離する方法。
界面抵抗	燃料電池構成材料間で生じる抵抗。
ガス焼成炉	高温の燃焼ガスを利用して電池材料を焼成するための設備。
起動バーナ	モジュールの昇降温時に使用し、燃焼ガスを供給する燃焼器。
共焼結	電極や電解質など構成部材の前駆体を同時に焼成（焼結）すること。
凝縮器	発電運転中に発生する燃料ガス中の水分を除去し、燃料再循環ガス中の水分を調整するための熱交換器。
金属管板	円筒形セルを吊り下げ支持する板材。
空気ブロフ	電池への空気および燃焼室への燃焼用空気を送風するためのブロフ。
空気予熱器	電池に供給する空気を高温の排ガスとの熱交換により予熱するための熱交換器。
グリーン	焼成前の構成材料の前駆体、造孔材、バインダーなどが混合された状態のもの。
シール性	電池性能に要求される緻密性を評価する指標。
支持膜式セル	電極または支持体の基板上に電解質が薄膜状に構成されるセル。逆に電解質が厚膜で自ら構造体になるものを自立膜式セルと呼ぶ。
焼成炉	電池材料の粉末または成形品を高温で焼成するための電池製造設備。
出力密度	単位面積辺りの出力。SOFCの性能を示すパラメータとして活用。
純水気化器	純水を水蒸気に変える装置。
水蒸気/炭素比（S/C比）	反応ガス中の水蒸気と炭素のモル比。
スラリーコート	構成材料の前駆体スラリーを塗布すること。スラリーの溶液中に浸漬するディップコート法やスクリーン印刷法などが含まれる。
接合強度	円筒形セルと異材を接合させた時の強度の指標。
セル	燃料電池の最小単位。TOTOの湿式円筒形SOFCの場合は空気極支持管、空気極、電解質、燃料極から構成される。
セルサポートフォイル	合金薄板からなり、接合シール材により単セル単部と接合され、マニホールドに組み込まれる。単セルがマニホールド内に強固に固定されるのを防ぎ、合金と単セルの熱膨張率の違いに基づき発生する応力を（自身の変形により）緩和する。

用語	説明
脱硫器	燃料ガスとして使用する都市ガスに付臭材として含有している硫黄分は燃料電極の触媒毒となるため、硫黄分を除去する装置。
炭素析出	反応ガス中の炭素化合物の分解によって固体の炭素が系統内にたい積する現象。
電圧低下率	発電時間に対するセル電圧の低下の割合。
電気式燃料予熱器	モジュール入口の燃料ガスを補助的に電気ヒータで予熱するための熱交換器。
ドレンポット	発電時に発生するドレンを回収する容器。
内部改質	セルモジュール内で自己の発熱を利用して原燃料の改質を行うこと。
熱自立	発電システムの運転に適した温度の状態を、発電部分等からの発熱で維持でき、外部からの加熱が必要でない状態をいう。本プロジェクトではモジュールだけでなく燃料発生部である水蒸気改質部を組み合わせた構成での熱自立性の評価を行った。
燃焼式燃料予熱器	電池入口温度を燃焼ガスにより調整するための熱交換器。
燃料再循環ブロウ	燃料ガスを再循環し、電池に燃料ガスを供給するためのブロウ。
燃料利用率	供給燃料の内、燃料電池内で消費される燃料の割合。
燃料予熱器	電池に供給する燃料ガスを電池からの燃料系排ガスとの熱交換により予熱するための熱交換器。
パラメータ設計	複数のパラメータをもとにパラツキを低減させる条件を見出し、更に最適化を行う手法。
バンドル	セルを数本から十数本を接続し一体化したもの。モジュールを構成するための基本単位となる。現状のTOTO製湿式円筒形SOFCの場合は2並列×6直列構造となっている。
モジュール	発電システムにおける発電容量に合わせて複数のバンドルまたはセルスタックを接続したもの。
連続焼成炉	搬出・搬入ラックと連続焼成炉から構成され、被熱物は搬出ラックから連続焼成炉へ自動で搬出され、さらに焼成された被熱物は自動で搬入ラックに保管される設備。
DSS	Daily Startup and Shutdown。
EPMA	電子プローブマイクロアナライザ。
LSCF	(La,Sr)(Co,Fe)O <sub>3</sub> 。ペロブスカイト型複合酸化物。
LSCO	(La,Sr)CoO <sub>3</sub> 。ペロブスカイト型複合酸化物。
LSM	(La,Sr)MnO <sub>3</sub> 。ペロブスカイト型複合酸化物。
OCV	Open Circuit Voltage。開回路電圧。
SDC	(Sm,Ce)O <sub>2</sub> 。サマリア添加セリア。 (サマリア：酸化サマリウム、セリア：酸化セリウム)
SEM	走査型電子顕微鏡。
SOFC発電室	SOFC本体を収納するための容器。
YSZ	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> 。イットリア安定化ジルコニア。 (イットリア：酸化イットリウム、ジルコニア：酸化ジルコニウム)

# I. 事業の位置付け・必要性について

## 1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

### 1.1 NEDOが関与することの意義

#### (1) エネルギー政策上の位置付け

資源に乏しい我が国が将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となることを目指し、「エネルギーイノベーションプログラム基本計画」(添付資料1-1)が2008年4月に制定された。「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」(以下、本事業という。)は、その「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施している。

我が国におけるエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題(CO<sub>2</sub>)・交通量の多い都市部等における地域環境問題(NO<sub>x</sub>、PM等)の解決のためには、国全体として省エネルギーを推進するとともに、新エネルギー技術の開発、コスト削減及び利便性・性能の向上に積極的に取り組むことが極めて重要である。燃料電池は、上記の目的達成に向けたキーテクノロジーとして、その実用化への期待が高い。

「新・国家エネルギー戦略」(経済産業省、2006年5月)では、新エネルギーイノベーション計画として燃料電池を新たなエネルギー経済を支える基幹技術と位置づけて戦略的・重点的に技術開発や実証を推進するとしている。また、総合資源確保戦略として石炭ガス化燃料電池複合発電の開発・普及を図るとしている。

「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」(経済産業省、2008年3月)では、世界全体の温室効果ガス排出量を2050年までに半減するという目標の下、CO<sub>2</sub>排出量の大幅削減を可能とする21の革新技術が選定されているが、図I-1. 1-1に示すように民生部門で定置用燃料電池が、運輸部門で燃料電池自動車を選定されている。また、発電・送電部門においても、高効率天然ガス火力発電としての燃料電池-ガスタービンハイブリッド発電(FC/GTハイブリッド発電)、高効率石炭火力発電としての石炭ガス化燃料電池複合発電(IGFC)によるCO<sub>2</sub>削減が記載されている。

「環境エネルギー技術革新計画」(内閣府、2008年5月)では、低炭素社会実現に向けた我が国の技術戦略において定置用燃料電池および燃料電池自動車を開発の必要な技術として位置付けている。

「低炭素社会づくり行動計画」(2008年7月)では、定置用燃料電池について2020~2030年頃にコスト40万円/kW、耐久性9万時間まで向上させ本格普及を目指すとしている。

「エネルギー基本計画」(経済産業省、2010年6月)では、エネルギー源のベストミックスを確保するためには燃料電池の技術開発の促進と内外への普及拡大によって天然ガスシフトを推進すべきであること、燃料電池の普及に向けた最大の課題であるコストの低減に

向けて基礎的な部分も含めた技術開発を推進するとしている。

「新成長戦略」（内閣府、2010年6月）では、燃料電池分野において日本が技術的優位性を有しており、戦略的な国際標準化を進めるとしている。

「日本再生戦略」（国家戦略室 2012年7月）では、燃料電池自動車などの次世代自動車について世界市場を獲得するため、他国を圧倒する性能・品質を実現し、世界的な潜在市場の掘り起こしを図るとしている。また、家庭用燃料電池の普及促進を図ると共に、燃料電池の低コスト化及び耐久性・信頼性向上を図るための技術開発を推進することとしている。

このように、「燃料電池」は継続して政策上の重要な技術分野となっている。



出典：経済産業省「Cool Earth—エネルギー革新技术計画」

図 I - 1. 1 - 1 重点的に取り組むべきエネルギー革新技术

## (2) 研究開発政策上の位置付け

経済産業省は、政策を踏まえて、全ての研究開発プロジェクトを7つの「イノベーションプログラム」の下で体系的に推進しているが、前記したように、本事業はそのうちの一つ「エネルギーイノベーションプログラム」に含まれている。

我が国が持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及により世界に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組むことが不可欠であるが、エネルギー技術開発には長期期間と大規模投資を必要とするとともに将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的に取り組むことは容易ではない。「エネルギーイノベーションプログラム」は、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方が方向性を共有し、長期にわたり軸のぶれない取組の実施を可能にすることを目指して制定されており、下記する5つの柱で構成されている。

- ① 総合エネルギー効率の向上
- ② 運輸部門の燃料多様化
- ③ 新エネルギー等の開発・導入促進
- ④ 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保
- ⑤ 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

本事業で開発対象としている固体酸化物形燃料電池（SOFC）は各種燃料電池の中で発電効率が最も高く、電池自体で燃料の内部改質が可能で天然ガス・石炭ガス化ガス等の多様な燃料に対応可能、高温排ガスを利用してのガスタービン等との複合発電システムの構築が可能である等の特長を有し、1kW級の家庭用システムから数100MW級の発電事業用プラントまで幅広い用途での実用化・普及が期待されている。しかしながら、ガスエンジンやガスタービン、日本が世界に先駆けて商品化した固体高分子形燃料電池（PEFC）の家庭用システム（エネファーム）等の競合技術と比べると、SOFCの現状技術レベルは性能面で同等以上のものが得られているものの、耐久性・信頼性、コスト、利便性に関しては市場要求とのギャップが大きい。とりわけ、早期の市場エントリーに向けては耐久性・信頼性の向上が重要であり、そのためにはSOFC内部における反応・劣化・物質輸送の現象とメカニズムを根本的に理解し、その知見を産学が共有して劣化対策の検討を進める必要があり、この取り組みを本事業において進めている。

以上のことから、本事業は、新エネルギー分野でのイノベーションを促進する高効率かつ低コストを目指した先進的技術開発（上記③に該当）および化石燃料の有効かつクリーンな利用（上記⑤に該当）の施策として、エネルギーイノベーションプログラムの目標達成に寄与するものである。

### (3) NEDOの関与の必要性

燃料電池の普及には技術開発だけでなく、技術実証、制度の整備（規制見直し）および標準化が必要であり、図 I-1. 1-2 に示すように、NEDOはこれらを一体的に実施している。SOFC に関しては、表 I-1. 1-1 に示すように、本事業と並行して「固体酸化物形燃料電池実証研究」（2008～2010年度）および「水素社会構築共通基盤整備事業」（2005～2009年度）を推進してきている。

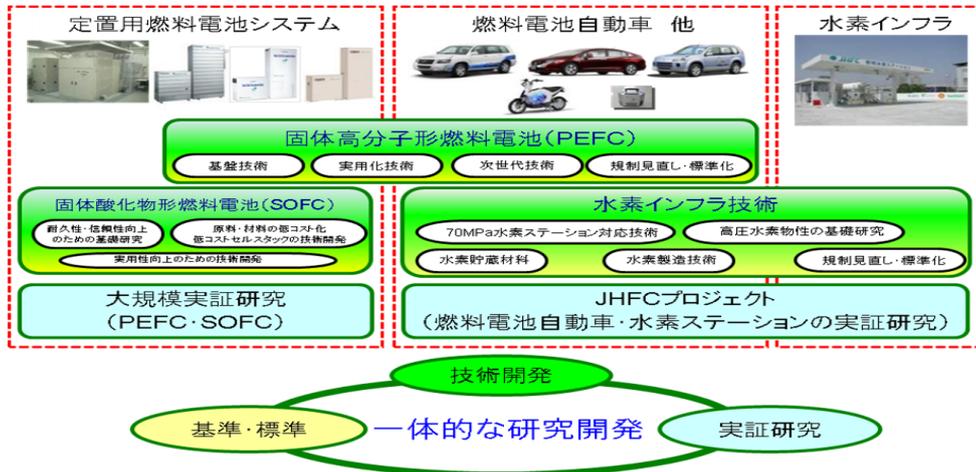
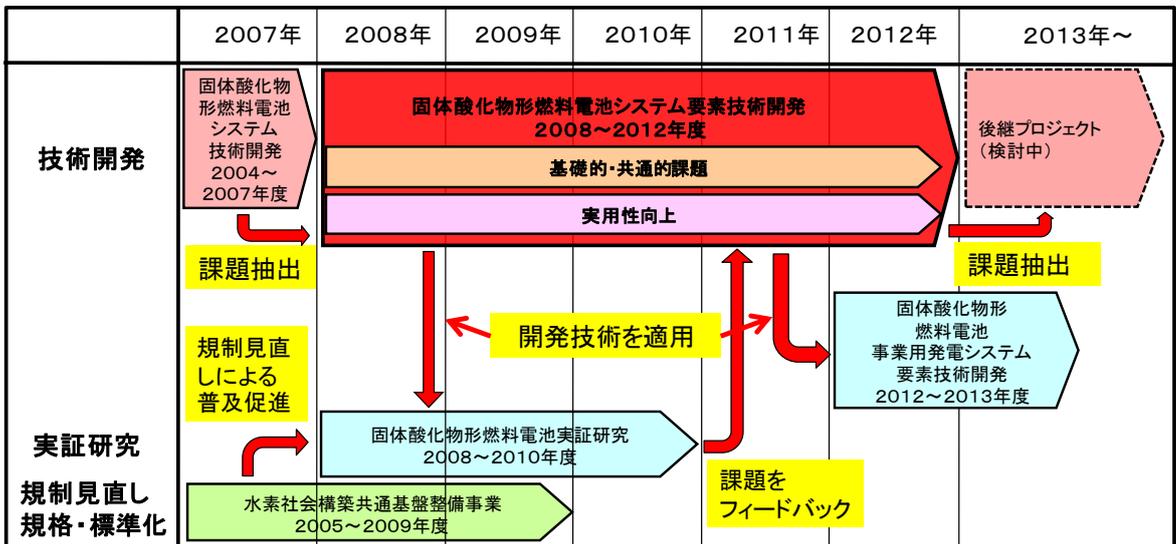


図 I-1. 1-2 NEDOにおける燃料電池・水素技術開発の概要

表 I-1. 1-1 NEDOプロジェクトの年度展開



「固体酸化物形燃料電池実証研究」では、図 I-1. 1-3 に示す研究体制スキームで SOFC システムを一般家庭等の実負荷環境下に設置し、取得された各種運転データについて評価・分析を行い、普及に向けた技術課題を抽出した。本実証研究では 4 年間（2007～2010 年度）で 0.7 kW～8 kW 級のシステム 233 台が運転された。本実証研究において抽出された技術課題のうち、セルスタックの耐久性に係る課題については本事業にフィードバックされ、早期解決に導いていく取り組みが為されている。



図 I-1. 1-3 「固体酸化物形燃料電池実証研究」の研究体制スキーム

一方、「水素社会構築共通基盤整備事業」では、定置用燃料電池システム（PEFC、SOFC）に係る規制の再点検に必要な技術開発、データ収集・提供等を行ってきた。これらの成果に基づいて SOFC システムに関しては以下に示す 7 項目の規制が見直しされている。

- ① 常時監視の不要化（電気事業法、2006 年 3 月）
- ② 不活性ガス置換義務の省略（電気事業法、2007 年 9 月）
- ③ 一般用電気工作物化（電気事業法、2007 年 9 月）
- ④ 設置届出義務の不要化（消防法、2010 年 3 月）
- ⑤ 設置保有距離の省略（消防法、2010 年 3 月）
- ⑥ 逆火防止装置の省略（消防法、2010 年 3 月）
- ⑦ 加圧防止装置の省略（電事法、2011 年 9 月）

また、「水素社会構築共通基盤整備事業」では、国際競争力を確保する観点から、日本電機工業会（JEMA）「燃料電池国際標準化委員会」の下に「試験法調査WG」が設立され、PEFC を参考に、SOFC の安全試験法および性能試験法の国際標準化に向けた検討を行い、2009 年度末に国際標準との整合化原案がとりまとめられ、2010 年度中に国際標準の第 1 版が発行された。現在は、その改訂作業を継続している（詳細は 2.4 を参照のこと）。

さらに、SOFC システムの実用化のためには、セルスタックの劣化機構の解明と信頼性・耐久性の向上が不可欠であるが、高温下での物資拡散・反応、構造変化、セラミックスの

機械的特性、不純物の影響などを総合的に把握する必要がある。その技術的難易度は極めて高いため、実用化へ向けた課題抽出・試作改善を行う産業界と、劣化機構に関する集学的な解明を行う学术界の緊密な連携が不可欠である。

上述のように、SOFCシステムの普及には、技術開発・実証・制度整備・標準化を一体的に実施する必要があること、技術的難易度の高い劣化機構解明を産学の緊密な連携体制の構築・運営が必要なことから、民間企業の活動のみでは十分な成果は見込まれず、新エネルギー・省エネルギーに係る国家プロジェクトをマネジメントするNEDOの関与が不可欠である。以上のように、燃料電池の普及には複数の関係する研究開発、技術実証、規格化・標準化を連携・整合して進める必要があり、民間企業の活動のみでは十分な研究開発が見込まれないことから、新エネルギー・省エネルギーに係る国家プロジェクトをマネジメントするNEDOの関与が不可欠である。

## 1. 2 実施の効果

### (1) 経済効果

2009年に(株)富士経済が実施した国内市場規模の予測を家庭用SOFCについて図I-1. 2-1に、業務・産業用SOFCについて図I-1. 2-2に示す。市場は2015年頃から立ち上がり、2020～2025年に普及が拡大すると予測されている。2025年の市場規模は家庭用SOFCが2,340億円(導入台数60万台)、業務・産業用SOFCが123億円(導入台数2100台)と予測されている。

なお、上記した業務・産業用SOFCの市場規模には電力事業用SOFCは含まれていない。電力事業用SOFCの場合、1基の出力規模として天然ガス焼きSOFC-ガスタービン-蒸気タービン複合発電システムが数百MW級、石炭ガス化炉-SOFC-ガスタービン-蒸気タービン複合発電システムが数十MW級と想定され、商用化された場合の市場規模は相当に大きくなるものと推測される。

以上のように、SOFCの市場規模は家庭用と業務・産業用を合わせて2025年で約2,500億円となっており、その経済効果への期待は大きい。

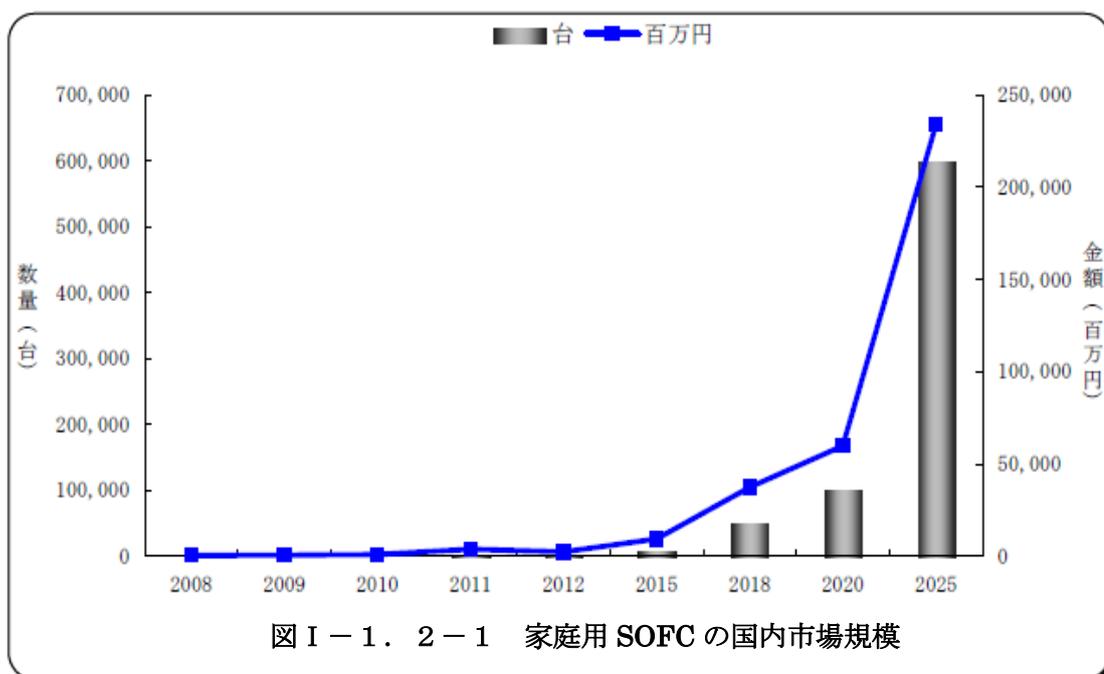
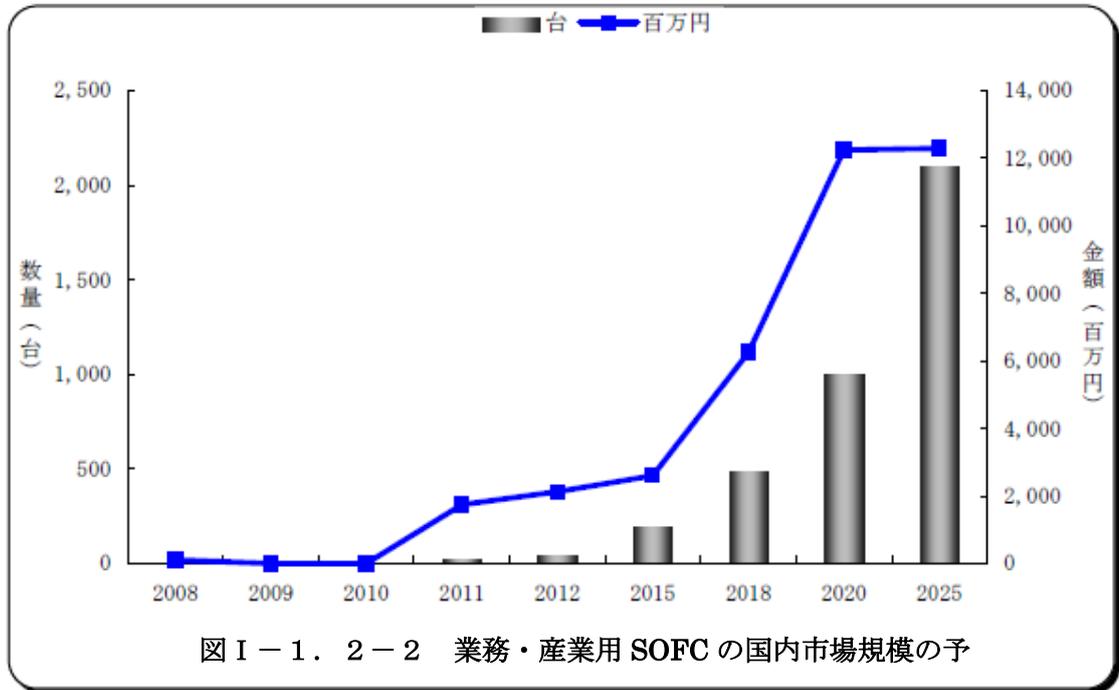


図 I - 1 . 2 - 1 家庭用 SOFC の国内市場規模

出典：「2010年版 燃料電池関連技術・市場の将来展望」(株式会社富士経済)



出典：「2010年版 燃料電池関連技術・市場の将来展望」(株式会社富士経済)

## (2) CO<sub>2</sub>削減効果

前記した「固体酸化物形燃料電池実証研究」で取得された運転データを用いて試算すると、平均的な電力需要約500kWh/月前後の一般家庭にSOFCシステムを設置した際のCO<sub>2</sub>削減量は約1.3トン-CO<sub>2</sub>/月となる。これに前記した2025年の家庭用SOFCの市場規模(導入台数60万台)を当てはめると、年間78万トンのCO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。

また、電力事業用SOFCであれば、高効率天然ガス火力発電としてのFC/GTハイブリッド発電および高効率石炭火力発電としてのIGFCで約30%のCO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。さらに技術的には、これらをCO<sub>2</sub>回収・貯留(CCS)と組み合わせることによって約9割〜ゼロまで削減可能することができる。

## 2. 事業の背景・目的・位置付け

### 2. 1 事業立案時点における背景

従前、我が国におけるSOFCの開発においてはスタック製造に開発努力が集中されてきたが、システム開発の重要性が認識され、2004年度よりNEDO 事業として「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」が開始され、コジェネレーションシステム開発およびハイブリッドシステムの基盤的検討が行われて2007年度に終了した。また、京セラなどは自社努力で家庭用システムの開発を2001年頃より開始し、2005年には大阪ガスのNEXT21において実住環境下での運転検証を行い、42～48%LHVという高いシステム効率を達成した。これらの成果を受け、NEDOは2007年度より「固体酸化物形燃料電池実証研究」を開始した。

この実証研究においては、表I-2. 1-1に示すように、4年間で0.7kW～8kW級のシステム233台が運転された。メーカーとしては京セラ、トヨタ自動車-アイシン精機、JX日鉱日石エネルギー、TOTO、ガスター-リンナイ、日本特殊陶業の8社（6グループ）が参画した。これらの実証運転からSOFCは従来想定されていたよりもはるかに小さい容量でも高効率なシステムを実現でき、燃料改質系とセルスタックとの連結が簡便であるため負荷変動に対し即応性が強く、夜間の低負荷時にも良好な効率を維持し得るなど運用面での利点も明らかになった。また、耐久性に関しても約3万時間の連続運転を超えるシステムも出てきている。しかしながら、本事業の立案段階にあった2007年度においては、多数のシステムで性能劣化が顕著であり、中には数千時間と短時間で寿命となったものもあり、市場導入に求められる耐久性の確立に向けた総合的な劣化対策の検討を進める必要があると判断された。

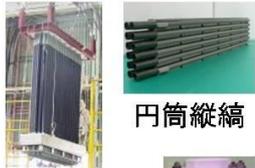
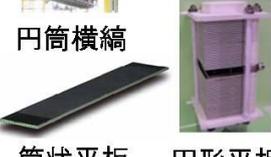
表I-2. 1-1 「NEDO/固体酸化物形燃料電池実証研究」におけるSOFC運転実績

設置・運転事業者	燃料種	メーカー	貯湯槽容量	定格出力	H19年度	H20年度	H21年度	H22年度	合計
大阪ガス	都市ガス	京セラ	70 L	0.7kW	20	22	12		54
			50 L			3		3	
		トヨタ・アイシン	70 L				23	12	35
			90 L					29	29
	TOTO	70 L				2	2		
東京ガス	都市ガス	京セラ	70 L	0.7kW		1			1
			200 L		3	1		4	
		トヨタ・アイシン	70 L				4	2	6
			90 L					9	9
	ガスター・リンナイ	80 L				2	2		
	TOTO	70 L					1	1	
北海道ガス	都市ガス	京セラ	200 L	0.7kW	1				1
			70 L			1		1	
		トヨタ・アイシン	70 L				1		1
		90 L				2	2		
西部ガス	都市ガス	京セラ	70 L	0.7kW	1	1			2
			70 L				1		1
		トヨタ・アイシン	90 L					2	2
東邦ガス	都市ガス	トヨタ・アイシン	70 L	0.7kW			1		1
			90 L				2	2	
		日本特殊陶業	80 L					2	2
東京電力	都市ガス	京セラ	70 L	0.7kW		1	1		2
東北電力	都市ガス	京セラ	70 L	0.7kW			1		1
新日本石油	LPG	新日本石油	70 L	0.7kW	1	1	14	27	43
			200 L			1		1	
	灯油		70 L		1	1	1	1	4
TOTO	都市ガス	TOTO	70 L	0.7kW			6	10	16
			130 L			2		2	
			なし		2kW	2			2
			なし	8kW		1		1	
9社	3種	6社9機種			29	36	67	101	233

他方、2003年にNEDOのSOFC開発技術委員会がまとめた「SOFCの将来構想に関する提言」においては小容量システムの実用化を促進するのに必要な技術課題が整理され、導入期に最も重要な課題は信頼性の確立であることが明示された。

この提言に沿って、産業技術総合研究所、電力中央研究所およびSOFCのスタックメーカーが連携して、セルスタックレベルでの性能劣化現象の把握、劣化機構の解明、未だ劣化としては現れて来ない現象の把握を目的として、平成2005～2007年度にNEDO事業「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」の研究テーマの一つとして「信頼性向上に関する研究開発」を行った。目標は、4万時間の耐久性を見通すのに必要な劣化率0.25%/1000時間を達成すること、達成できない時にはその改善策を示すことであった。5000～10000時間の連続運転における各スタックの劣化率（1000時間あたり）は、表I-2.1-2に示すように、三菱重工業製円筒横縞形が0.65～0.88%、TOTO製円筒縦縞形が1.6%、京セラ製筒状平板形が0.9～1.5%、三菱マテリアル製円形平板形が0.54～0.81%であり、いずれも0.25%の目標を達することができなかったものの、劣化に及ぼす諸因子の分析、今後の課題が抽出された。特に長時間運転後の各スタック部材を詳細に2次イオン質量分析計（SIMS）で解析した結果、従来ではスタックレベルでどのように現出するか不明であったクロム被毒が1万時間の長期間にわたって徐々に現れること、気相経由での不純物の混入が徐々に進行するため更なる長期間運転での耐久性との関連を明確化する必要があること等が明らかになった。

表I-2.1-2 「信頼性向上に関する研究開発」（2005～2007）での  
5000時間耐久試験結果

スタック モジュール		平均劣化率 (%/1,000h)	主な劣化要因	スタック構造
高温型	円筒横縞	0.65～0.88	空気極界面でのCr被毒	 円筒縦縞
	円筒縦縞	1.6～1.67	燃料極の抵抗増加、異種界面での抵抗増大	
中温型	筒状平板	0.9～1.5	セル接続金属の酸化、劣化等による抵抗増大	 筒状平板 円形平板
	円形平板	0.54～0.81	不純物による有効反応面積減少、燃焼域再酸化	

このような劣化挙動・信頼性向上課題における成果と課題の抽出を受け、NEDOにおいて2007年度に「SOFC技術の現状と課題」編集委員会が組織され、国内外における劣化問題への取り組みの体制、連携関係、方法、進捗状況などを調査すると共に課題抽出が行われた。この委員会では、上記「信頼性向上に関する研究開発」では取り扱えなかった性能変化と物質移動過程をつなぐ電気化学的現象・モデルの重要性が確認されると共に、従来あまり考慮されてこなかった物質移動過程が生じた後の機械的性質の変化も重要であり、SOFCの耐久性・信頼性向上には異なる分野の知見を集学的に劣化問題に注入した総合的取り組みが必要であるとの指摘がなされた。

また、SOFCの用途として、都市ガスを用いたコジェネレーションシステムとハイブリッドシステム、石炭ガス化ガスを用いた高効率コンバインドシステムが想定されるが、「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」において、表I-2. 1-3に示すように、10kW級システム2基、20kW級システム1基、200kW級システム1基の合計4基を開発し、3000時間の耐久試験を実施した。その結果、発電効率などの性能面での目標は達成されたものの、耐久性に関して更なる向上が必要であることが確認された。また、業務用等の中小システムは運用性を向上させる起動停止技術の開発が必要であること、電気事業用の大型システムはガスタービンとの複合システム構築のための高圧運転対応技術の開発が必要であること等が確認された。さらに、既に欧米で検討が開始されていた石炭ガス化ガス中の不純物のSOFCへの被毒効果については、日本国内でも早急な対応をすることが重要であるとの認識が示された。

以上のような背景から、本事業は立案され、実施された。

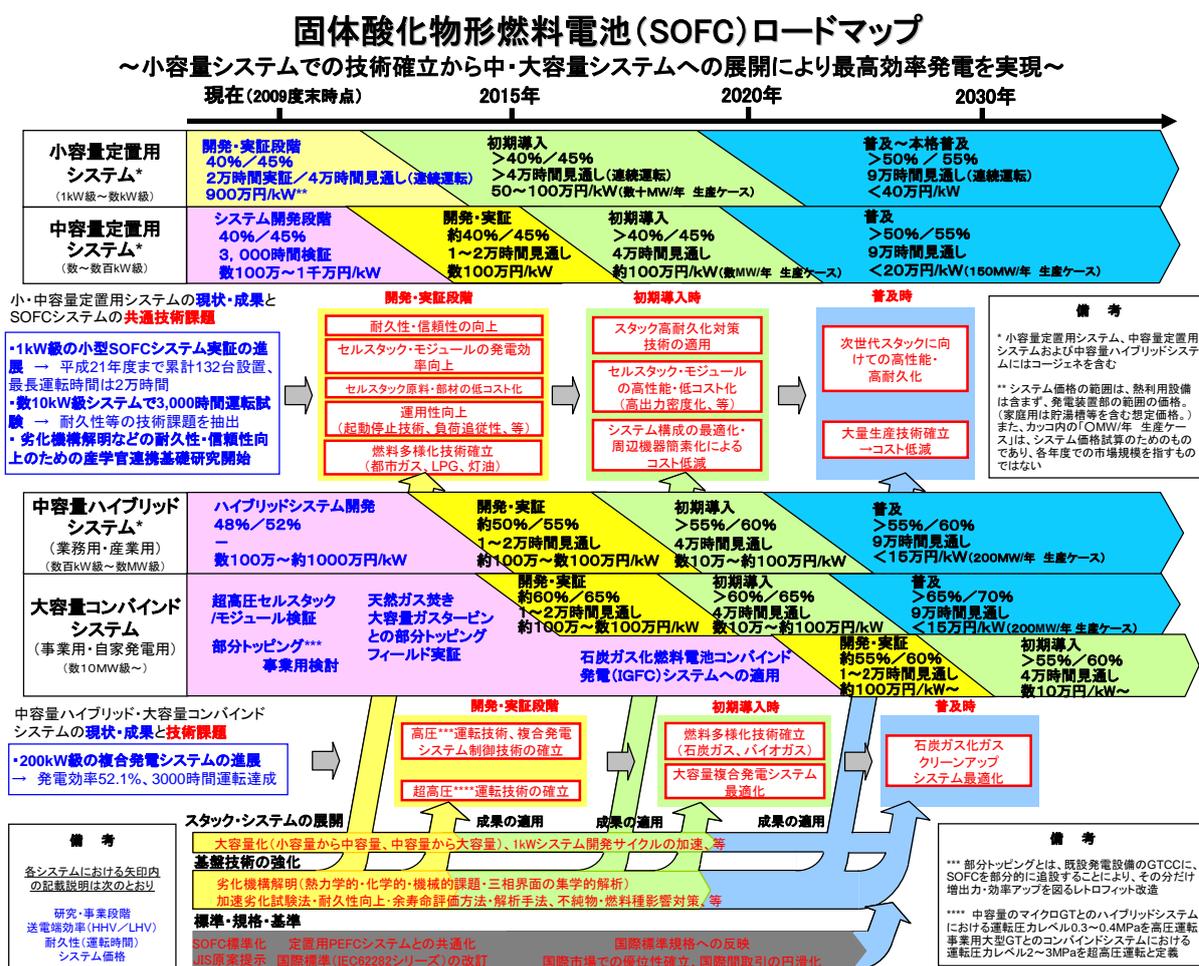
表I-2. 1-3 「SOFCシステム技術開発」(2004~2007)での  
3000時間耐久試験結果

SOFCシステム		発電効率	劣化率	備考
コジェネレーションシステム	10kW級A	41%, HHV	1%/1,000h程度	10kW級システム 
	10kW級B	38%, HHV		
	20kW級	40%, HHV		200kW級システム 
コンバインドサイクルシステム	200kW級	52%, LHV		

## 2. 2 SOFC普及に向けた技術開発課題

NEDOは、燃料電池・水素技術開発事業の推進機関として産学の協力の下で研究開発を実施している。この技術開発事業を効率的かつ効果的に推進するには、常にステークホルダー（利害関係者）間で「技術開発シナリオ」を共有する必要がある。そのため、NEDOは、我が国の燃料電池・水素技術開発で取り組むべき技術課題を明確にして、技術開発の方向性を示すと共に、本分野における産業界、大学各層的確な研究開発への取り組みを先導することを目的として、2005年に燃料電池・水素技術開発ロードマップを策定し、その後2年毎に改定作業を行っている。

2010年6月改定の「燃料電池・水素技術開発ロードマップ2010」に記載されたSOFCのロードマップを図I-2. 2-1に示す。



図I-2. 2-1 SOFC技術開発ロードマップ

出典:「NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ2010」

図I-2. 2-1に示すように、SOFCの実用化対象(用途)は小容量定置用システム、中容量定置用システム、中容量ハイブリッドシステム、大容量コンバインドシステムの4つに分類し、各システムに対応させたロードマップが策定されている。このロードマップの策定において考慮された各システムの初期導入期と普及期における開発目標仕様を表I-2. 2-1

に示す。

表 I-2. 2-1 SOFCシステムの開発目標仕様

＜小容量定置用システム＞

	初期導入期	普及期
システム価格	50～100万円/kW	40万円/kW以下
出力密度	0.2kW/L	0.4～1kW/L
発電効率	40%HHV/45%LHV以上	50%HHV/55%LHV以上
総合効率	75%HHV/82%LHV以上	80%HHV/89%LHV以上
耐久性	4万時間(連続運転、5年)以上の見通し	9万時間(連続運転、10年)以上の見通し
その他	負荷追従性、低負荷運転特性が良好であること	同左

＜中容量定置用システム＞

	初期導入期	普及期
システム価格	約100万円/kW	20万円/kW以下
出力密度	0.2～0.5kW/L	0.5～2kW/L
発電効率	40%HHV/45%LHV以上	50%HHV/55%LHV以上
総合効率	75%HHV/82%LHV以上	80%HHV/89%LHV以上
耐久性	4万時間(連続運転、5年)以上の見通し	9万時間(連続運転、10年)以上の見通し
その他	設置面積当りの容量 5～13kW/m <sup>2</sup>	設置面積当りの容量 13kW/m <sup>2</sup> 以上

＜中容量ハイブリッドシステム＞

	初期導入期	普及期
システム価格	約100万円/kW	15万円/kW以下
出力密度	0.2～0.5kW/L	0.5～2kW/L
発電効率	50%HHV/55%LHV以上	55%HHV/60%LHV以上
耐久性	4万時間(連続運転、5年)以上の見通し	9万時間(連続運転、10年)以上の見通し
その他	設置面積当りの容量 5～13kW/m <sup>2</sup>	設置面積当りの容量 13kW/m <sup>2</sup> 以上

＜大容量コンバインドシステム＞

	初期導入期	普及期
システム価格	数10～100万円/kW	15万円/kW以下
出力密度	0.2～0.5kW/L	0.5～2kW/L
発電効率	60%HHV/55%LHV以上	65%HHV/70%LHV以上
耐久性	9万時間(連続運転、10年)以上の見通し	9万時間(連続運転、10年)以上の見通し
その他	設置面積当りの容量 5～13kW/m <sup>2</sup>	設置面積当りの容量 13kW/m <sup>2</sup> 以上

表 I-2. 2-1 に示した開発目標仕様に対して、各システム共に発電効率などの基本的な性能は現在ほぼ達成され、また SOFC は P E F C のように貴金属を用いず、製造プロセスも大量生産が可能な湿式法の適用に成功していることから、コストダウン実現の可能性は高い。よって、現状において最も重要度の高い課題は耐久性・信頼性の確保と実証であることが、ステークホルダー間の共通認識となっている。次いで重要度が高い課題として、本格普及に向けたコストダウン、効率向上、利便性の向上が挙げられている。なお、耐久性とコスト、効率、利便性はトレードオフの関係にあり、これらの課題解決のためには、反応・劣化・輸送機構の解明などの基盤技術開発、熱管理や燃料供給排出の最適化などシステム関連技術の開発、さらに、これらの取組みと同時に、利便性・運用性向上のための取組みが必要である。

以下に、これら技術課題を解決するために必要な取り組みについて、産学の有識者の見解は次の通りとなっている。

### (1) 耐久性・信頼性の向上

SOFC は全て固体で構成されるため、本来劣化要因は少ない。米国 S i e m e n s - W e s t i n g h o u s e 社が E V D ( E l e c t r o c h e m i c a l v a p o r D e p o s i t i o n ) 法で作成したセルは定常運転下で 7 万時間以上の耐久性を示した。しかし、その後、製造方法の低コスト化(湿式法の採用)、低温形セルとそのための新規材料の開発、負荷変動運転、燃料多様化など、コストダウンと性能向上のためのさまざまな研究開発が行われており、トレードオフの関係にある耐久性・信頼性の向上が重要な課題となっている。

SOFC の劣化については、金属インターコネクタ、シール材、新規材料(セリア系等)の材料起因、湿式法採用などによる製造方法起因、燃焼ガスへの空気混入、熱サイクル、負荷追従運転などのスタック運転状況起因、気相に存在する微量な不純物や原材料内の不純物

起因など、様々な要因が存在する。これらに対して実システムの実証試験によって劣化に関するデータを蓄積するとともに、熱力学的・化学的・機械的解析、三相界面の微細構造変化の解析などの基礎研究を平行して行う必要がある。基礎的研究では劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする必要がある。さらに劣化対策を立案し、システム開発と連携してその効果の検証を行うとともに、劣化の加速試験方法を確立することが重要となる。

## (2) コストダウン

S O F Cは貴金属等を用いないため、原材料コストに関しては他の燃料電池と比べて低く抑えられる。また、当初は製造コストが問題になったが、日本では既に高価なE V Dなどの乾式法から低価格で大量生産に適した湿式・焼結法を採用することに成功しており、耐久性が確保されれば、初期導入に向けてのコスト目標のハードルは高くない。しかし、本格普及に向けての更なるコストダウンについては、ランタン等、原料価格の高い成分を含む部材の薄膜化、湿式法を用いてさらに焼結回数を削減するなどの製造プロセスの低コスト化、出力密度の向上によるセル材料の大幅削減などの取組みを進める必要がある。コストダウンに関する大半の取組みは耐久性とトレードオフの関係にあるため、上記(1)の耐久性・信頼性向上に関する取組みと並行して進める必要がある。

## (3) 高効率化・出力密度の向上

出力密度の向上は、材料使用量の削減によるコストダウンに繋がるだけでなく、高効率化、利便性の向上など全てに共通する課題であり、耐久性とトレードオフの関係にある。したがって、その向上のためには、運転条件・熱管理の最適化からセルスタック構造・部材の最適化まで、総合的なシステム最適化への取組みが必要である。

そのためには、温度分布、電流密度分布、熱応力分布などの把握と解析が重要であり、内部状態の計測技術とともにモデリング・シミュレーション技術が重要となる。また、中容量以上のシステムではシステム最適化のための試作回数はコストと時間の制約から限られてくる。小容量システムの急速な発展には、システム最適化へ向けての試作のサイクルの短さが貢献しており、システム構築の最小単位(大型基本スタック)の最適化等、中大容量システムの開発へのフィードバック方法の検討も重要である。劣化等のデータの蓄積とともに、小容量システムにおける挙動のモデリングと、それを用いた中大容量システムの設計シミュレーションなどの方法も考えられる。またコストダウンと性能をより高いレベルで両立させるためには、電解質・電極・インターコネクタなどの新規材料の開発も中長期的課題として取組む必要がある。

## (4) 燃料多様性、利便性・運用性の向上

運用性向上のためには起動停止・負荷変動対応が必要である。小容量システムにおいては現在良好な負荷追従性が得られている。起動停止・負荷変動に対しては運転制御や熱管理などのシステム最適化に加えて、耐久性とトレードオフの関係にあることから、更なる耐久性の向上が課題である。

燃料多様化については、L P Gや灯油への対応に向けた取組みが始まっており、小容量シ

システムで現在実証データが蓄積されつつある。今後は、炭素の析出、不純物元素による劣化の克服が課題となる。また、高温排熱の高度利用として、高圧運転を含めてコンバインドサイクルの試験運転が進められている。中大型電源用には小容量システムよりさらに高い耐久性と信頼性が求められ、この実証のための改良と運転実績の蓄積が課題である。また、現状では都市ガスを燃料としたシステム開発が主流であるが、将来的な I G F C（石炭ガス化燃料電池複合発電）への適用に向けたセルスタック開発、高圧運転のデータ整備等も重要となっている。

## 2. 3 海外におけるSOFC開発動向

### (1) 米国の動向

米国においては2001年よりエネルギー省（DOE）等の政府機関、民間企業、国立研究所・大学等が参加したプログラム「SECA（Solid State Energy Conversion Alliance）」においてSOFCの技術開発が進められてきた。SECAプログラムの第1期「低コスト化プロジェクト」（第1フェーズ～2005年まで）では、参画企業（GE、Delphi、Fuel Cell Energy、Acumentrics、Siemens、Cummins）による各スタックの実証と、それらに共通する性能・信頼性向上とコストダウンを目的とした基盤技術開発が進められた。その結果として、大量生産時コストで800/kW以下、発電効率35%LHV以上、電池性能の低下率4%/1000hの中間目標が達成されている。第2期の「石炭ベースシステムプロジェクト」（第1フェーズ 2004～2008年、第2フェーズ2009～2010年）では、システム開発者がFuel Cell Energy、Siemens、DelphiおよびRolls Royceに絞られ、ガソリンや灯油とは全く性状の違う石炭ガス化ガスに対応した燃料極の研究、大容量コンバインドサイクルに対応したIGFCシステム研究、高圧が発電性能に及ぼす影響の研究等が進められている。この場合の開発目標は発電効率が50%HHV以上、コストが700ドル/kW以下となっている。

2011年になりドイツのSiemens本社がPitzburgのSOFC部門を売りに出したために、システム開発者からは除外されたものと思われる。また、2012年6月Rolls Royceの株の51%をLGElectronicsが取得したとの報道がなされたが、SECAの活動はつづけていると思われる。SECAプロジェクト自身は2012年の予算要求がDOEからなされず、議会が前年度の半額を予算化するという異常状態が続いている。チュウ長官はじめDOEの首脳部が燃料電池・水素プログラムの優先度を下げたためである。燃料電池の優先度が再検討されたとの報道もあるが、今後の動向は不確定性が大きいといわざるをえない。

スタック開発者であるVersa Power Systems（Fuel Cell Energyと連携）とDelphiは、セルの大型化とスタックのタワー化を行い、スタック技術が成熟しつつあることを示した。

企業独自の開発としては、2001年設立のベンチャー企業Bloom Energyが100kW級のSOFCシステム（名称：ES-5000 Energy Server）の商品化に2010年2月に成功し、その後積極的に事業を展開している。技術の詳細は公開されていないが、動作温度800℃の25kW出力の発電モジュール4つで構成され、発電効率は50%LHV以上、販売価格は70～90万ドルとなっている。100kW以上の容量が必要な場合は100kWユニットを連結して対応している。当初は、カリフォルニアを中心にして、Google、FedEx、Wal-Mart、eBayといった大手企業から、Bank of America、Coca-cola、Cox Enterprises（メディア大手）、Staples（オフィスサプライチェーン）等の施設へ設置した他、最近で東部にも拠点を確保し、数10MWの分散電源まで手がけるようになっている。

この他に、金属材料支持型セルスタックの開発がLorence Berkley国立研究所やカナダInstitute of Fuel Cell Innovationsで

進められている。電解質はイットリア安定化ジルコニア (YSZ) から、スカンジウム安定化ジルコニア (ScSZ) + サマリウムドープセリア (SDC) などの高イオン伝導度酸化物膜の複合膜にシフトしつつある。いずれもスタック製造技術、電極材料のプロセッシングに特化して研究を進めており、実証段階には至っていない。また、NRCでは600℃という低い作動温度でもクロム被毒が認められたという情報もある。

また、SOFC 関連の基礎研究としては、電極反応の素過程である電極表面での酸素の解離・脱吸着反応の情報を得るために、高次調和項を考慮した複素インピーダンス解析 (ワシントン大) などの高度解析手法が研究され、LSCF 空気極の酸素還元反応についての素過程についての情報を得ている。また、電極反応が主に起こる三相界面の分布を、イオンビームによる切削 (FIB) と高分解能走査顕微鏡 (SEM) を使って3次元的にデータを取得し、それをコンピュータ上で復元する試みがArgonne 国立研究所およびノースウェスタン大学、コネチカット大学などで行われている。伝えられているところでは、未だ実機セルの解析を行う段階には達していないという。但し、実験室規模での劣化セル試料の解析を進めている。耐久時間の異なる試料を解析して長期耐久によってどのように微構造が変化するかを追求方法と初期に得られた3次元再構築微構造をシミュレーションの手法で計算機上で変化させ、どのような微構造の変化を変遷するかを検討する二つの方法を採用している。

## (2) 欧州の動向

欧州において燃料電池・水素分野の技術開発は、欧州連合（EU）における科学分野の技術開発に関する財政的支援制度「Framework Programme for Research and Technological Development」の下で推進されている。このプログラムの予算推移を表I-2. 3-1に示す。

また、このプログラムで取り扱われているSOFC関係の技術開発プロジェクトを表I-2. 3-2に示す。

表I-2. 3-1 Framework Programme for Research and Technological Developmentの予算推移

FP	Period	総予算 (M€)	エネルギー分野 (M€)	水素・燃料電池 (M€)
1	1984 - 1987	3,270	830	0
2	1987 - 1991	5,360	120	8
3	1990 - 1994	6,600	260	32
4	1994 - 1998	13,120	1,030	58
5	1998 - 2002	14,960	1,042	145
6	2002 - 2006	17,500	2,120	314
7	2007 - 2013	50,520	2,350	470

表I-2. 3-2 EUにおけるSOFC関係の技術開発プロジェクト

SOFCプロジェクト	プロジェクト目標	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10
<b>■材料・構成部材の開発</b>									
Real SOFC	性能劣化低減セル								
SOFC600	低温動作セル								
SOFCSPRAY	低コスト化セル製法								
<b>■適用範囲の拡大</b>									
FLAME-SOFC	多種燃料対応CHP								
LARGE-SOFC	大型化システム								
<b>■バイオマス燃料の適用</b>									
BIOCELLUS	ガス精製等システム								
GREEN-FUEL-CELL	タール等対応システム								
BIO-SOFC	消化ガス対応システム								
<b>■輸送分野への適用</b>									
METHAPU	船舶用メタノールAPU								
<b>■コスト低減</b>									
DEMO-SOFC	低コスト化SOFC製造法								

表I-2. 3-2に示すように、SOFCに関して様々な技術開発プロジェクトが推進されてきている。

例えば、SOFCの耐久性向上を目的とした「Real-SOFC」プロジェクトでは、劣化率の目標として1.0%/1000時間が設定され、Hexis、Rolls Royce Fuel Cell、Juelich研究所などのスタックが10000時間の長期

にわたって耐久性を評価された。その結果、Juelich研究所のスタックが連続運転で15000時間以上の耐久性を有することが確認された。しかしながら、100回以上の熱サイクル試験では20%以上劣化することも確認されており、電極構造と組成の組合せを適正化して劣化を低減することも検討されている。また、2007年より開始した「SOFC600」プロジェクトでは、移動体用補助電源（APU）を主なターゲットとした動作温度600℃以下の金属支持SOFC（Metal Supported Solid Oxide Fuel Cell：MS-SOFC）の開発を進めている。現状は、電極面積100cm<sup>2</sup>程度のMS-SOFCにおいて動作温度800℃で出力密度609mW/cm<sup>2</sup>、劣化率は1%/1000時間（2000時間の発電）が得られている。

最近始まったプロジェクトを表I-2. 3-3に示す。

表I-2. 3-3 欧州で最近開始されたSOFC関連プロジェクト（FP7）

		10	11	12	13	14	15
システム関連							
SOFC-FACT	MCHP開発・実証						
ASTERIX3	マイクロCHP						
SOFCOM	バイオマスCCHP						
DESTA	トラック用APU						
SUAV	飛行体用小型円筒						
スタック関連							
SOFC-LIFE	スタック劣化・寿命						
MMLRC=SOFC	応力・シール改善						
CATION	定置用セル空気極						
ASSENT	燃料極						
METSAPP	金属支持セル						
RAMSESS	金属支持円筒平板						
SCOTAS-SOFC	硫黄、炭素、再酸化						
診断							
GENIUS	スタック診断技術						
DESIGN	スタック診断技術						

日本の実証研究に刺激されて、マイクロ CHP などの開発・実証が目立つようになった。SOFC-FACTでは、Ceramic Fuel Cells LimitedのBlue Gen（後述）を試験したのち、他のシステム設計・製造・運転を行う。また、トラック用のAPUなど米国の動きに連動した開発研究も行われ、さらに飛行体への応用なども着手されている。

また各国ともに燃料電池に関する実証事業を計画・実施する段階に到達しており、ドイツではすでに始まり、デンマーク、イギリスなどでの計画が進行している。ドイツではCalluxと呼ばれるPEFCとSOFCの実証研究が2008年よりフィールド試験と支援測定が開始されている。フィールド試験はEnBW、E.ON、RuhrGas ENE RGIE、MW Energie、VNGなどのユーティティ会社が設置・運転を行っている。SOFCシステムとしては、HEXISとVaillantが参画している。2012

年までにPEFCを含めて800台が試験される予定である。企業の取り組みに注目すると、平板型SOFCの開発が主流となっており、動作温度の低温化と金属サポートセルの開発が活発である。特にCeres Powerは電解質に希土類添加セリアを用い電着法で金属支持板に製膜するセルを開発しマイクロCHPシステムまで構築している。セリア膜中の電気化学的酸素透過を防ぐためにYSZ薄膜をサンドイッチ構造にして挿入したり、比較的大きな劣化原因を見極めるために時間を費やしたが2014年初期からBritish Gasと実証試験を行う段階に達した。金属サポートセルでは最も進んでいるといえよう。

Ceramic Fuel Cells Limited (オーストラリアの企業であるが量産工場をドイツに保有) は、70mm×70mmのセル4枚を2×2アレイに組み込んで大面積化を図った2kW級システム(名称: BlueGen)を開発しており、1.5kW出力時の発電効率として60%LHVを達成している。ドイツ、日本、イギリス、フランス、オランダ等においてフィールド試験による耐久性の検証を進めており、10000時間運転をクリアしたのも出てきているが、劣化率は0.3%/1000時間と報告されているが、実績値としては1-2%/1000時間と表明されている。

また、Wärtsilä (フィンランド) はTopoe Fuel Cells Ltd (デンマーク) より平板型スタックの提供を受け、天然ガス、バイオガス、埋立地ガス、メタノールを燃料に使用する定置用・船舶用の20kW級および50kW級システムを開発しており、前記したEUの開発プロジェクトに参加し、実証運転を行っている。発電効率は20kW級システムで41~43%LHV(メタノール)、50kW級システムで47%LHV(天然ガス)が得られている。さらに、Staxeraは電気出力が1.1kWと1.4kWの2タイプのシステムを商品化している。発電効率は30%と低めではあるが、1.1kWシステムで5000時間、1.4kWシステムで1000時間を保証している。150回のサーマルサイクルの検証も済みであり、劣化率は0.5%/1000時間とのことである。2011年にSun FireがStaxeraを買収し、SOECにより水素製造し、二酸化炭素との反応から炭化水素系の燃料を製造する応用へ大きく舵を切っている。Hexisは、円形平板型のセルを採用した1kW級システムを開発しており、セルの電気出力密度は212mW/cm<sup>2</sup>(@0.7V、燃料利用率82%)、発電効率は30%、劣化率は0.4%/1000時間となっている。各社のスタックいずれも今後更に耐久性を向上させる必要があるが、保証の設定や生産ラインを充実する会社も出てきており、普及に向けて着実に前進しているとの印象を受ける。

Rolls Royceは、英国では活動を中止し、米国の活動に集中しているようである。

また、Juelich研究所では、長期運転をいくつか異なるセルで実施しており、実際に1万時間以上4万時間程度まで運転したときの挙動を検証している。最近の報告では、ランタンマンガンナイト系空気極を用いたスタックが、1万6千時間で一部のセルが破戒したために性能劣化を起し、中断に至ったことを報告している。主な原因として電解質膜内部での酸化マンガンを析出を挙げている。

基盤技術に対する取り組みに関しては、Juelich研究所(ドイツ)とEMPA(スイス連邦素材研究所)およびImperial Collegeが劣化観測手段の高度化について積極的に展開している。Juelich研究所においてはコンピュータ断層撮影(C

T)、赤外カメラによるイメージング(短絡有無の検証)、X線回折(残留応力、FIB法による応力解析)、In situ観測とアコースティックエミッション(熱サイクル、Redox)、SEM/TEMなどに注力している。EMPAにおいてはUSAXS(超小角X線散乱法)、XANE(X線吸収端構造法)、FIBによるナノCT、中性子によるスタックのCTスキャンなど、高額・大型機器を用いた研究が進められている。また、カールスルーエ工科大学では、複素インピーダンス法の高度化を計るために、DRT(Distribution of Relaxation Time)法を開発し、劣化部位の特定と機構解明の有効な手段として検討・確立してきた。参照電極を用いずに空気極劣化と燃料極劣化を区別するために燃料組成、空気組成などを変化させた一連のデータの解析から各寄与をそれぞれの電極反応の素過程に割り付けている。正確をきすために、同一セル内での組成の変動に起因する現象を取り除くために、微小な領域での測定を行っている。このため、スタックそのものの解析には不向きだといわれている。

## 2. 4 標準・規格・基準に係る状況

PEFCを含む定置用燃料電池の国内の標準規格は、2008年7月に安全基準なども含むJIS規格が発行され、一通り体系整備が完了した。

国際標準化活動は、1998年にIEC（International Electrotechnical Commission：国際電気標準会議）の中に設置されたTC105（Technical Committee 105：第105専門委員会）で進められている。これまでに15件のIEC規格が発行され、IEC62282シリーズとして、燃料電池用語、燃料電池モジュール、定置用燃料電池システム－安全要件・性能試験法・設置要件・小型定置用、ポータブル燃料電池システム－安全要件、マイクロ燃料電池－安全要件・性能試験法・互換性、単位セルスタック－性能試験法などに関する規格を定めている。TC105は12の作業会（WG）から構成されているが、2012年8月現在、このうち4つのWGは日本人コンビナである。TC105の議長が日本人であることも合わせて、この分野で中心的な役割を果たしている。

SOFCに関しては、10kW未満の小容量SOFCのJIS規格開発および関連JIS規格の見直しを行う目的で日本電機工業会（JEMA）「定置用燃料電池標準化委員会」の下に「SOFC標準化分科会」が設置された。さらに、国際競争力を確保する観点から、NEDO事業「水素社会構築共通基盤整備事業」（2005～2009年度）において、JEMA「燃料電池国際標準化委員会」の下に「試験法調査WG」が設立された。ここでは標準化で先行する小形PEFCの標準化を参考に、SOFCの安全試験法および性能試験法の国際標準化に向けた検討が行われ、2009年度末に国際標準との整合化原案がとりまとめられた。現在までに、SOFCに関して9件がJIS規格化された。進行中の案件としては、JIS規格原案策定とIEC/TC105審議（日本提案）が並行して行われている「SOFC単位セルスタック性能試験法」があるが、本件をもってSOFCの規格化・標準化は、一通り完了する予定である。

こうした国内外の標準化・規格化の状況の概略を下記図I-2.4-1に示す。

	年度	～2009	2010	2011	2012	2013～
国内	技術基準JIS	規格整備完了 認証基準に反映			国際規格と対応して適宜改訂	
	法規・規制	関連法規見直し完了（高圧ガス保安法、消防法、電気記事業法）				
	認証体制	家庭用燃料電池認証システム検討委員会で策定した認証基準に基づき認証実施 （現行認証基準は第7版、随時見直し）				
国際	標準化	規格整備完了 （IEC/TC105第1版発行）		規格見直し （IEC/TC105第2版検討中）		
	法規・規制	各国法規・規制の情報収集 （北米規制はASTM、UL、EU規制はガス機器指令）				
	認証体制	国際認証制度の調査・検討 IEC/CABにて議論中（日本提案）				

図I-2.4-1 国内外の標準化・規格化の状況

今後は国際認証制度なども念頭に入れながら、IEC 62282シリーズの新規提案や改訂作業の実施などを通じ、より詳細な内容を盛り込んだ技術内容を国際標準化していくことが重要である。また、既存のJIS規格を国際規格に直接対応するJIS 62282シリーズとして統合・体系化を進めていくことも重要な作業である。今後もPEFCと一体化した国産開発技術の国際標準化への取り組みを継続し、SOF Cシステムの国際市場における優位性および国際取引の円滑化を、標準規格制定の面からもサポートしていく予定である。

## 2. 5 事業の目的・位置付け

本事業は、固体酸化物形燃料電池システムを早期に市場導入するため、以下に示す基礎研究と要素技術開発を実施して、その基盤技術を確立することを目的としている。

研究開発項目①「基礎的・共通的課題のための研究開発」

- (a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究
- (b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

研究開発項目②「実用性向上のための技術の確立」

- (a) 運用性向上のための起動停止技術
- (b) 超高効率運転のための高圧運転技術

上記の各研究テーマは、その何れもがSOFCの市場導入において重要度の高い耐久性・信頼性の向上あるいは低コスト化の技術課題を取り扱うものであり、前記2. 1～2. 4で示した事業の背景、普及に向けた課題、海外動向、標準化・規格化の状況等に照らし合わせて見て妥当であると判断される。特に、耐久性・信頼性を向上させるため、別途進めている「固体酸化物形燃料電池実証研究」とも連携を取りながら、図I-2. 5-1に示すような熱力学的・化学的・機械的解析および三相界面の微細構造解析による劣化機構の解明と加速劣化因子の抽出、劣化対策の立案・検証、余寿命評価式の確立等を産学が協調して進める本事業の取り組みは効果的であり、かつ新規性、先進性を有しているものと考えられる。

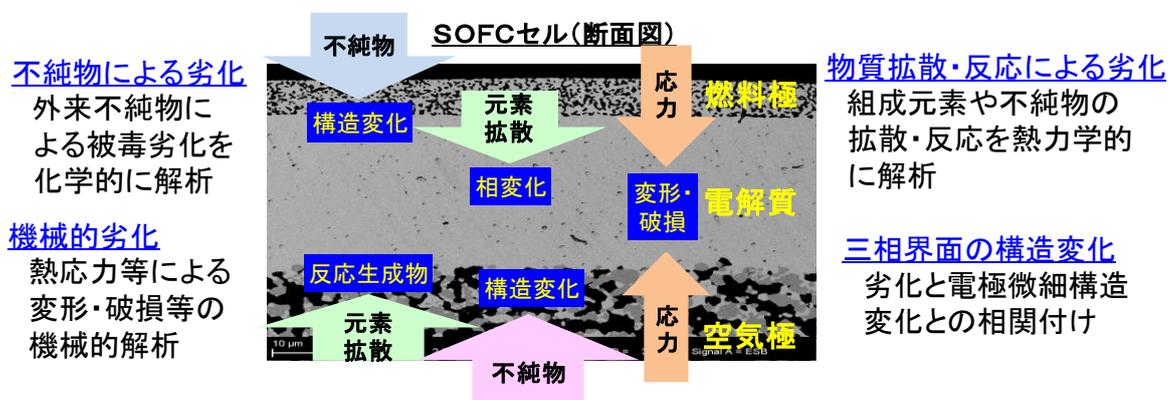


図 I - 2. 5 - 1 SOFC 耐久性・信頼性向上のための集学的取り組み

なお、後述するように、研究開発項目①の(b)は2010年度の時点で最終目標がほぼ達成されたため、2010年度末をもって前倒し終了した。また、研究開発項目②の(a)は最終目標に向けて追加的な基礎研究等が必要なことが判明したため、2012年度末をもって中止とした。

## II. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

本事業の全体目的は、SOFCシステムを早期に市場導入するために必要な基礎研究と要素技術開発を実施して、その基盤技術を確立することである。

本事業における研究項目・研究テーマとその最終目標（2012年度末）を以下に示す。

#### 研究開発項目①「基礎的・共通的課題のための研究開発」

##### (a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

4万時間および起動停止250回の耐久性の見通し。加速劣化試験法の確立。

##### (b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

普及期のセルスタック製造コストとして5万円/kW程度の見通し。

#### 研究開発項目②「実用性向上のための技術の確立」

##### (a) 運用性向上のための起動停止技術

4万時間および起動停止250回の耐久性の見通し。

##### (b) 超高効率運転のための高圧運転技術

4万時間の耐久性の見通し。超高効率運転のための高圧運転技術の確立。

上記に示した目標は、前記「I.事業の位置付け・必要性について」に記載した我が国におけるSOFCの市場導入シナリオ、技術開発ロードマップ（図I-2.2-1参照）、海外技術の動向等に照らし合わせて見て妥当であると判断される。

なお、後述するように、研究開発項目①の(b)は2010年度の時点で最終目標がほぼ達成されたため2010年度末をもって前倒し終了した。また、研究開発項目②の(a)は最終目標に向けて追加的な基礎研究等が必要なことが判明したため、2010年度末をもって中止とした。

## 2. 事業の計画内容

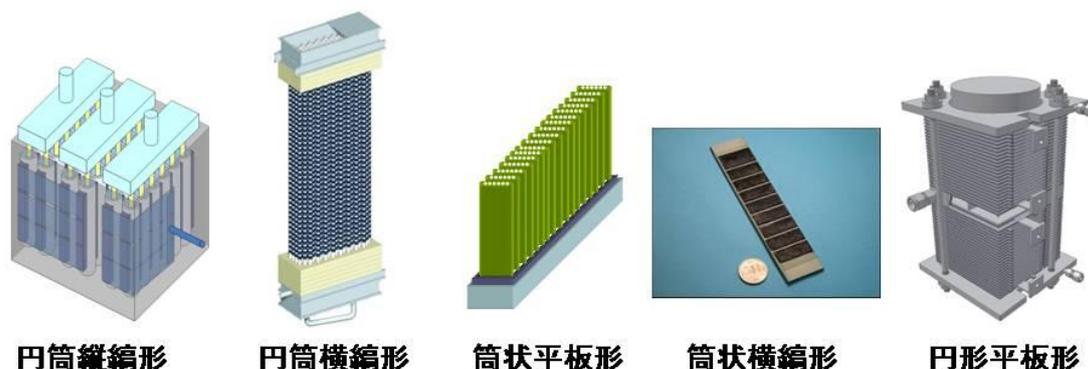
### 2. 1 研究開発の内容

#### (1) 「基礎的・共通的課題のための研究開発」の内容

##### (a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

複数のセルスタックメーカーと大学・研究機関が連携し、セルスタックの構造・製造法と劣化現象との相関を導出しながら、耐久性・信頼性の向上を図る基礎研究を行う。

前期（2008～2010年度）の検討対象のセルスタックは、図II-2. 1-1に示すように、円筒縦縞形（TOTO）、円筒横縞形（三菱重工業）、円形平板形（三菱マテリアル・関西電力）、筒状平板形（京セラ）、筒状横縞形（東京ガス）の5タイプである。これらセルスタックについて、各セルスタックメーカーと大学・研究機関が協力して、長期連続運転および起動停止運転を行い、性能低下を観測すると共に、運転後の解体調査し、劣化現象の把握と劣化機構の解明を行い、改良点などの抽出を行う。なお、「固体酸化物形燃料電池実証研究」に供されたセルスタックも解体調査の対象とする。



図II-2. 1-1 前期（2010～2012年度）検討対象のセルスタック

本テーマの最終目標（2012年度末）および中間目標（2010年度末）は次の通りである。

○ 最終目標：

4万時間と起動停止250回の耐久性の見通し、および加速劣化試験法の確立。

○ 中間目標：

熱力学的・化学的・機械的解析および三相界面の微細構造解析による劣化機構の解明と加速劣化因子の抽出、劣化対策の立案・検証、余寿命評価式の提案。

また、大学・研究機関を中心とした集学的な取り組みの概要を以下に示す。

① 熱力学的解析（産業技術総合研究所）

2次イオン質量分析法(SIMS)を用いた拡散現象の分析を通じ、熱力学的な劣化要因の特定と劣化機構の解明に取り組む。

② 化学的解析（九州大学）

モデルセルの性能・耐久性試験による実験的評価と超高分解能顕微鏡観察による化学劣化メカニズム分析を通じ、化学的な劣化要因の特定と各因子の定量的評価手法を検討する。

③ 機械的解析（東北大学）

アコースティック・エミッション（AE）のウェーブレット解析などによるセル損傷のその場測定や運転時のセル変形や応力の発生に関する機械的解析を通じ、機械的な劣化要因の特定と各因子の定量的評価手法（セル構造体の機械特性シミュレーション手法）を検討する。

④ 三相界面劣化現象と微細構造変化の相関付け（京都大学、東京大学）

電気化学的に劣化したセルスタックの三相界面について、低加速電圧収束イオンビーム電子顕微鏡観察（FIB-SEM）やRaman分光局所分析を通じ、三相界面近傍における微細構造変化と劣化の関係の明確化に取り組む。

⑤ 耐久性評価手法（電力中央研究所）

5000～10000時間の耐久性試験の実施や耐久性試験データの解析を通じ、劣化要因の特定を行うと共に、種々の複合劣化要因を統合したセルスタックの余寿命評価式を検討する。

⑥ 石炭ガス化ガス中の微量成分影響調査(産業技術総合研究所、名古屋大学、岐阜大学)

石炭ガス化ガスに含まれる微量不純物（P、Na、S等）の化学反応に伴う電極構造変化やセル発電特性への影響の有無について実験的・理論的な調査を実施する。

後期（2011～2012年度）の検討対象のセルスタックは、図 I I - 2. 1 - 2 に示すように、筒状平板形（京セラ）、筒状横縞形（東京ガス）、円筒横縞形（三菱重工業）、マイクロチューブ形（TOTO）、の4タイプである。なお、円筒縦縞形（TOTO）、円形平板形セルスタック（三菱マテリアル・関西電力）は、「追加の基礎研究等が必要」と判断したため、プロジェクト前半で検討を終了した。

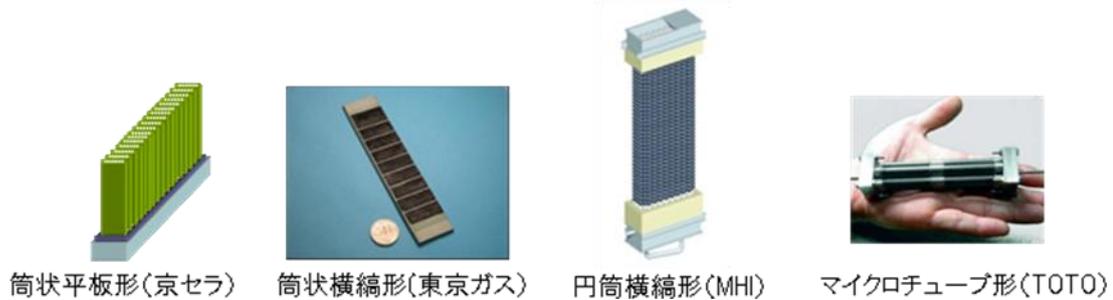


図 I I - 2. 1 - 2 後期（2011～2012年度）検討対象のセルスタック

(b) 原料・部材の低コスト化および低コストセルスタック・モジュールの技術開発

金属インターコネクタ材料および電極材料を対象として（表 I I - 2. 1 - 1）、複数のセルスタックメーカ（TOTO、三菱マテリアル、三菱重工業）と原材料・部材メーカ（日立金属、AGCセイミケミカル、共立マテリアル）が連携し、セルスタックの低コスト化を図る技術開発を行う。

表 I I - 2. 1 - 1 低コスト化対象の原材料・部材

金属インターコネクタ材料		Fe-Cr系フェライト合金
セルスタック材料	燃料極	NiO-YSZ
		NiO-セリア
	空気極	(La,Sr)MnO <sub>3</sub>
		(La,Sr,Ca)MnO <sub>3</sub>
		(La,Sr)(Co,Fe)MnO <sub>3</sub>
		(Sm,Sr)CoO <sub>3</sub>

本テーマの最終目標（2012年度末）および中間目標（2010年度末）は次の通りである。

○ 最終目標：

普及期のセルスタック製造コストとして5万円/kW程度の見通しを得る。

なお、普及時の生産規模としては以下を想定する。

- ・小容量（数kW未満）：生産数5万kW/年レベル
- ・中容量（数十kW～数百kW）：生産数15万kW/年レベル

○ 中間目標：

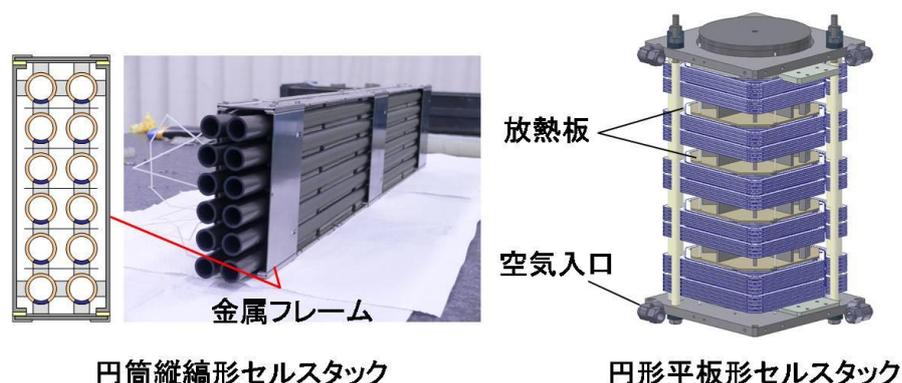
セルスタックメーカーによる原料・部材の共通仕様の提案および低コスト化の課題抽出と解決方針の策定。

なお、本項目は2010年度の時点で最終目標がほぼ達成されたため、2010年度末をもって前倒し終了した。

## (2) 「実用性向上のための研究開発」の内容

### (a) 運用性向上のための起動停止技術開発

中小容量のSOFCを業務用システムとして市場導入するには、DSS (Daily Start and Stop)、WSS (Weekly Start and Stop)、暖起動停止 (ホットスタンバイ)、部分負荷運転等が可能であることが望ましい。そのための起動停止技術の開発を円筒縦縞形セルについてTOTOが、円形平板形セルについて三菱マテリアル・関西電力が担当し、安全かつ信頼性を有した起動停止方法の開発、セルスタック・発電モジュール構造の開発等を行う。開発対象のセルスタックを図II-2. 1-3に示す。



図II-2. 1-3 検討対象のセルスタック構造

本テーマの最終目標 (2012年度末) および中間目標 (2010年度末) は次の通りである。

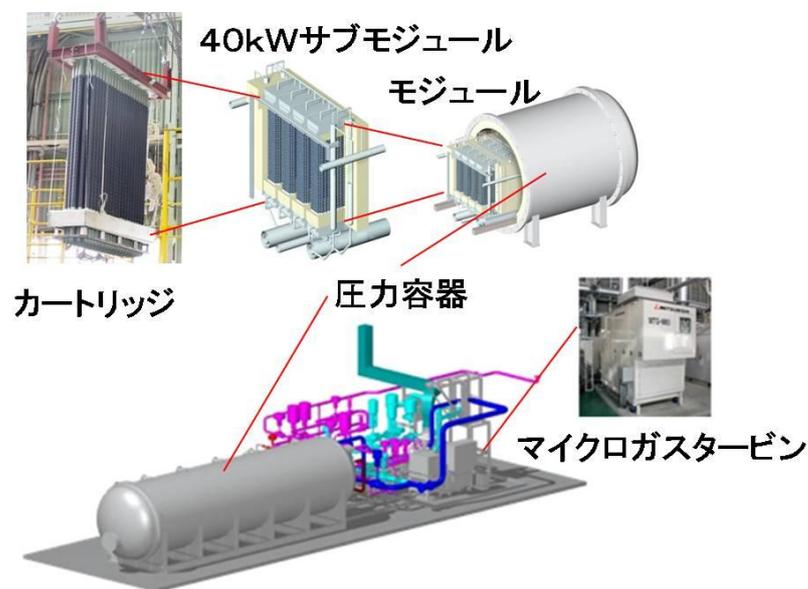
- 最終目標：  
5～10kW 級システムあるいは熱自立モジュールにおいて4万時間および起動停止250回の耐久性の見通し。
- 中間目標：  
起動停止による熱サイクルの影響を評価し、熱衝撃緩和セルスタック・モジュール構造を確立する。

なお、本項目は最終目標に向けて追加的な基礎研究等が必要なことが判明したため、2010年度末をもって中止とした。

## (b) 超高効率運転のための高圧運転技術開発

数百MW級の天然ガス燃焼SOFC-ガスタービン-蒸気タービン複合発電システムの送電端発電効率は70% (LHV) 以上が期待できる。また、石炭ガス化炉-SOFC-ガスタービン-蒸気タービン複合発電システムでも送電端発電効率は60% (LHV) 以上が期待できる。このような超高効率の複合発電システムにおけるSOFCの運転圧力は2～3MPaの高圧となることから、これに適合させるための各種要素技術開発に三菱重工業が取り組む。

具体的には、高圧運転対応・コンパクト化を図った密充填構造カートリッジ(スタック集合体)を発電試験に供し、その構造健全性や耐圧性等を確認すると共に、図II-2.1-4に示すような複合発電システムとしての起動・定常運転・緊急停止時の保護インターロックの検証等を行う。



図II-2.1-4 検討対象のSOFC-ガスタービン複合発電システム

本テーマの最終目標(2012年度末)および中間目標(2010年度末)は次の通りである。

- 最終目標：  
4万時間の耐久性の見通しおよび超高効率運転のための高圧運転技術の確立。
- 中間目標：  
ガスタービンとの組合せに適う圧力範囲で、起動停止や緊急時の安全停止を可能とすること等、高圧運転のためのシステム技術の確立。

### (3) 研究開発スケジュール

本事業開始時の研究開発スケジュールを表 I I - 2. 1 - 2 に示す。

表 I I - 2. 1 - 2 研究開発スケジュール

研究開発項目	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度
①基礎的・共通的課題					
(a)耐久性・信頼性の向上のための基礎研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆長期運転と起動停止のセル内部への影響</li> <li>◆加速劣化試験方法の検討</li> <li>◆発電に伴う微細構造変化のデータ解析</li> <li>◆性能表示式の策定、加速劣化試験方法の検討</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆加速劣化試験方法の適用検討</li> <li>◆寿命予測式の検討</li> </ul>	
(b)原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆合金組成改良、表面処理適応による改良</li> <li>◆簡易耐久性評価技術による評価</li> <li>◆原料・部材の共通仕様候補の選定・試作</li> <li>◆低コスト化に必要な技術課題の抽出</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆長時間評価</li> <li>◆製造方法の確立、発電試験</li> </ul>	
②実用性向上					
(a)運用性向上のための起動停止技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆起動停止試験による熱サイクル影響評価</li> <li>◆熱衝撃を緩和する構造検討(スタック、モジュール)</li> <li>◆要素試験の実施、起動停止条件の確立</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆システム設計</li> <li>◆システム運用性評価</li> </ul>	
(b)超高効率運転のための高圧運転技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆セルスタック酸化還元サイクル耐性向上</li> <li>◆セルスタック・モジュールの耐差圧性向上</li> <li>◆要素試験の実施</li> <li>◆モジュール高圧運転対応・コンパクト化</li> <li>◆複合発電システム制御の信頼性向上</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆高圧下でのセルスタック発電特性試験</li> <li>◆複合発電システム試験</li> </ul>	

研究開発項目①の(b)は2010年度の時点で最終目標がほぼ達成されたため平成22年度末をもって前倒し終了した。また、研究開発項目②の(a)は最終目標に向けて追加的な基礎研究等が必要なことが判明したため、2010年度末をもって中止とした。これ以後の研究開発スケジュールを表 I I - 2. 1 - 3 に示す。

表 I I - 2. 1 - 3 研究開発スケジュール

研究開発項目	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度
①基礎的・共通的課題					
(a)耐久性・信頼性の向上のための基礎研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆長期運転と起動停止のセル内部への影響</li> <li>◆加速劣化試験方法の検討</li> <li>◆発電に伴う微細構造変化のデータ解析</li> <li>◆性能表示式の策定、余寿命予測式の開発</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆セルスタックの劣化機構解明</li> <li>◆加速劣化試験の検討</li> <li>◆余寿命予測式の開発</li> <li>◆シャットダウン耐性の検討</li> </ul>	
(b)原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆合金組成改良、表面処理適応による改良</li> <li>◆簡易耐久性評価技術による評価</li> <li>◆原料・部材の共通仕様候補の選定・試作</li> <li>◆低コスト化に必要な技術課題の抽出</li> </ul>			(前倒し終了)	
②実用性向上					
(a)運用性向上のための起動停止技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆起動停止試験による熱サイクル影響評価</li> <li>◆熱衝撃を緩和する構造検討(スタック、モジュール)</li> <li>◆要素試験の実施、起動停止条件の確立</li> </ul>			(中止)	
(b)超高効率運転のための高圧運転技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆セルスタック酸化還元サイクル耐性向上</li> <li>◆セルスタック・モジュールの耐差圧性向上</li> <li>◆要素試験の実施</li> <li>◆モジュール高圧運転対応・コンパクト化</li> <li>◆複合発電システム制御の信頼性向上</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆高圧下でのセルスタック発電特性試験</li> <li>◆複合発電システム試験</li> </ul>	

#### (4) 研究開発予算の推移

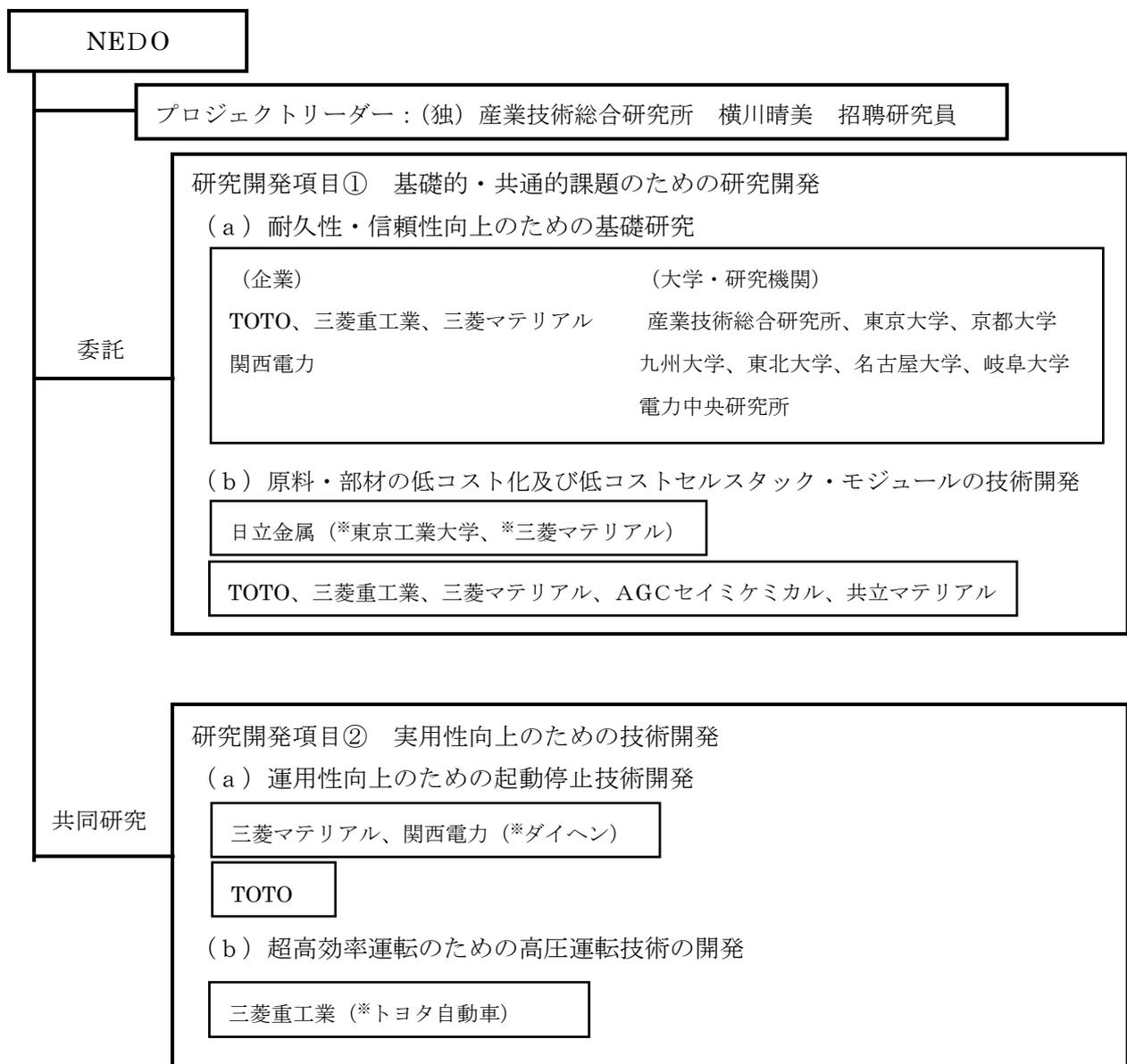
本事業の研究開発予算（NEDO負担額）の推移を表 I I - 2. 1 - 4 に示す。

表 I I - 2. 1 - 4 研究開発予算（NEDO 負担額）の推移

研究開発項目	委託先	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	合計
①基礎的・共通的課題							
(a)耐久性・信頼性の向上のための基礎研究	産業技術総合研究所、電力中央研究所、TOTO、三菱マテリアル、関西電力、三菱重工業、東北大学、東京大学、名古屋大学、岐阜大学、京都大学、九州大学	1,014	960	496	265	265	3,000
(b)原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発	日立金属、TOTO、三菱マテリアル、三菱重工業、AGCセイメイケミカル、共立マテリアル	181	171	122			474
②実用性向上							
(a)運用性向上のための起動停止技術	TOTO、三菱マテリアル、関西電力	59	69	21			149
(b)超高効率運転のための高圧運転技術	三菱重工業	114	125	274	337	394	1,244
合計		1,368	1,325	913	602	659	4,867

## 2. 2 研究開発の実施体制

図 I I - 2. 2 - 1 に本事業開始時の実施体制を示す。



※再委託

図 I I - 2. 2 - 1 実施体制図

本事業はNEDOがプロジェクトリーダー (PL) として委嘱した、産業技術総合研究所・エネルギー技術研究部門の横川晴美招聘研究員 (兼務：東京都市大学特任教授) の下で実施する。横川氏は、SOFCの研究開発に20年以上関与し、熱力学への高度な知見を基本にSOFCの材料からシステムまでの幅広い知見を有し、我が国のSOFCの研究開発をリードしてきた第一人者である。最近では、2006年に Fellow of The Electrochemical Society に推挙され、「熱力学データベースMALTの構築とその普及」に対して日本熱測定学会賞を受賞するなど、その研究成果や功績は世界的に広く認められている。また、前事業「固体酸化物形燃料電池システム技術開発／要素技術開発／信頼性向上に関する研究開発」の研究代表者としても高い知見と指導力を発揮し、優れた成果を挙げた。そのため、前事業

で抽出された技術課題も把握しており、本事業のPLとして最もふさわしい者と判断している。

研究開発項目①の(b)は2010年度の時点で最終目標がほぼ達成されたため2010年度末をもって前倒し終了した。また、研究開発項目②の(a)は最終目標に向けて追加的な基礎研究等が必要なことが判明したため、2010年度末をもって中止とした。これ以後の実施体制を図I I-2. 2-2に示す。



図 I I-2. 2-2 実施体制図

※再委託

## 2. 3 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的及び目標に照らして適切に運営管理を実施するものとしている。その具体的な取組みを以下に示す。

### (1) NEDOが運営する委員会

本事業のアドバイザーリーボードとして、表 I I-2. 3-1 に示す外部有識者委員で構成

される「SOFC推進助言委員会」をNEDOが運営している。表II-2.3-2に示すように、この委員会は年2回（半期に1回）の頻度でこれまで8回開催されている。この委員会には本事業の全委託先が参加すると共に、政策上の意向も反映するために経済産業省もオブザーバとして参加している。

この委員会においては、各委託先より研究開発の進捗状況について報告が為され、外部有識者委員より技術的な助言を受けると共に、事業全体の目標達成・効率的実施のための運営管理に関する助言・指摘を受けている。その結果、産学の連携が強化されており、例えば、「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」において大学・研究機関で取得されたデータ（劣化前後の三相界面の微細構造解析結果、不純物の影響評価結果等）がタイムリーに企業に提供される仕組みが整えられた。また、「実用性向上のための技術開発」における企業の課題についても、大学・研究機関と情報を共有し、共同で解決に取り組むこととなった。

表II-2.3-1 「SOFC推進助言委員会」の外部有識者委員

	氏名	所属、役職等
委員長	川口 修	慶應義塾大学 名誉教授
委員	山口 周	東京大学工学研究科 マテリアル工学専攻 教授
委員	高倉 毅	財団法人エネルギー総合工学研究所 研究顧問
委員	長野 克則	北海道大学大学院 工学研究科空間性能システム専攻 教授
委員	田畑 健	社団法人日本ガス協会 技術開発部長
委員	香川 公司	電気事業連合会 技術開発部 副部長

表II-2.3-2 「SOFC推進助言委員会」の開催実績

	開催日	場所	議題
第1回	2008年12月1日	NEDO川崎	全体計画について
第2回	2009年4月7日	NEDO川崎	2008年度の成果について
第3回	2009年10月20日	NEDO川崎	2009年度上半期の成果について
第4回	2010年4月23日	NEDO川崎	2009年度の成果について
第5回	2010年11月18日	NEDO川崎	2010年度上半期の成果について
第6回	2011年7月22日	NEDO川崎	後期（2011～2012年度）の計画について
第7回	2012年2月27日	NEDO川崎	2011年度の成果について
第8回	2012年9月21日	NEDO川崎	2012年度上期の成果について

(2) 委託先が運営する委員会等

(a) 基盤コンソーシアム会議

「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」に参加している大学・研究機関（産総研、九大、東北大学、京大、東大、電中研、名大、岐阜大）によって「基盤コンソーシアム会議」が運営されており、年2回の頻度で開催され、研究進捗に関する報告・討議が行われている。この会合にはPL、NEDOおよび各スタックメーカーもオブザーバとして参加している。

また、この会議では、スタックメーカーから大学・研究機関に評価サンプル等の提供を行う際のスケジュール調整も行われており、共通の課題が多いセルスタックから優先的に評価する等、効率的な研究開発の推進を図っている。

さらに、海外から関係分野の研究者が来日した場合には臨時に会合を開催して情報・意見交換を行い、参加大学・研究機関間での情報共有化・連携を強化するための基礎研究討論会を開催している。

#### (b) スタック高耐久化技術WG

「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」における長期耐久性試験の状況を確認することを目的として、「スタック高耐久化技術WG」が運営されている。このWGはPLが主催し、産総研（事務局）、電中研、スタックメーカーおよびNEDOが参加し、年4回の頻度で開催している。

このWGでは、耐久性試験の進捗に加えて、個別の劣化部位の報告・討議も行われる。また、産学の連携が進展した局面では、今後どのように各スタックメーカーと大学・研究機関が連携活動を行っていくかの調整も行うようにしている。

#### (c) 金属インターコネクタ材料開発推進会議

「原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発」のうち、金属インターコネクタの開発を担当している日立金属によって外部有識者で構成される「金属インターコネクタ材料開発推進会議」が運営された。この会議の外部有識者委員を表II-2.3-4に示す。この会議は年2回（半年に1回）の頻度で開催され、日立金属、再委託先（東京工業大学、三菱マテリアル）、産総研、スタックメーカー数社およびNEDOが出席した。日立金属より金属インターコネクタ材料の開発状況が報告されると共に、日立金属より提供された開発合金の評価結果等がスタックメーカーより報告された。

表II-2.3-4 「金属インターコネクタ材料開発推進会議」の外部有識者委員

	氏名	所属、役職等
委員長	横川 晴美	東京都市大学 総合研究所特任教授
委員	南口 誠	長岡技術科学大学 機械系 准教授
委員	鈴木 稔	大阪ガス株式会社 シニアリサーチャー

#### (d) 低コスト化共通会議

「原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発」のうち、低コスト化セルスタックの研究開発を担当する委託先により、「低コスト化共通会議」が運営さ

れた。

この会議は年4回（四半期に1回）の頻度で開催され、材料メーカーとスタックメーカーが開発状況の報告・確認を行いながら、セル原材料の共通仕様の策定に向けた調整を行った。

### (e) 実用性向上WG

「実用性向上のための技術開発」の各テーマの進捗状況をPLおよびNEDOが把握することを目的として、「実用性向上WG」が年4回（四半期に1回）の頻度で開催されている。このWGには、必要に応じて「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」に参画している大学・研究機関も出席し、スタックの耐久性に係る情報等の共有化を図っている。

上記（1）および（2）に示した各種委員会等の開催実績をまとめて表II-2. 3-5に示す。

表II-2. 3-5 各種委員会等の開催実績

	2008年度			2009年度												2010年度																
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
①SOFC推進助言委員会			○				○							○						○							○					
②基盤コンソーシアム会議		○						○					○						○	○	○					○		○			○	
③スタック高耐久化技術WG				○		○			○				○						○			○				○					○	
④金属インターコネク推進会議	○			○										○						○											○	
⑤低コスト化共通会議													○			○				○		○	○	○								
⑥実用性向上WG				○					○				○						○			○				○					○	

	2011年度												2012年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
①SOFC推進助言委員会				○								○						○						
②基盤コンソーシアム会議			○			○		○		○		○				○	○							
③スタック高耐久化技術WG								○		○		○			○									
④実用性向上WG								○				○			○									

### (3) 「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」産学連携強化および検討の集中と選択

2010年度の間評価及び推進助言委員会において、「スタック耐久性改善を基礎研究課題よりも優先度を上げ、そのために各研究機関の役割分担を明確化すべき」という意見を頂いた。そこで、NEDO及びPLが協力して、本事業の前期3年間の「企業スタック側の耐久性向上のこれまでの成果」「各スタック課題に対する基盤研究機関のこれまでの寄与」を整理すると共に、後期2年間における基盤研究機関に対する企業スタック側の要望の明示化を行い、基盤研究機関への要請を行った。

こうした対応により、産学連携がより緊密となり、重要課題の検討が進んだ。例えば、2012年3月には共通重要課題として空気極が取り上げられ、企業側と研究機関の合同拡大会議で集中討議が行われ、その劣化機構の解明とセルスタックにおける改善対策が大きく進展した。また、上記企業要望明文化の際に「シャットダウン耐性に関する追加検討の要望が企業側よりあ

たため、直ちにPL、研究機関とNEDOが検討し、プロジェクト後半開始とともに九州大学にて、希望する企業のセルスタックについてシャットダウン耐久試験を実施することにした。

また、同じく2010年度の間評価において、「予算効率化、早期実用化を考慮して、SOF形式の選択と集中を検討すべき」という指摘があった。そこでプロジェクト後半では、検討対象セルスタックの絞り込みと変更を行った。具体的には、熱サイクル耐久性に関して基礎からの検討が必要と判断された円形平板形セルスタックと円筒縦縞形セルスタックはプロジェクト前半で検討終了とした。プロジェクト後半では小型システム適用に有望と考えられるマイクロチューブ形の検討を新たに行っている。このため、「研究開発項目① 基礎的・共通的課題のための研究開発（a）耐久性・信頼性向上のための基礎研究信頼性・耐久性向上」における検討対象セルスタックは前半の5タイプから4タイプになり、研究開発項目② 実用性向上のための技術開発（a）運用性向上のための起動停止技術開発」は前半で検討終了とした。

## 2. 4 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

### (1) 実用化、事業化に向けたマネジメント

第I章「1. 1 NEDOが関与することの意義」に記載したように、燃料電池の普及には技術開発だけでなく、技術実証、制度の整備および標準化を一体的に進める必要があり、NEDOは本事業と並行して「固体酸化物形燃料電池実証研究」（2007～2010年度）においてSOFCシステムの技術実証を、「水素社会構築共通基盤整備事業」（2005～2009年度）において規制見直しと国際標準化の検討を進めてきている。

また、第I章「2. 2 SOFC普及に向けた技術開発課題」に記載したように、NEDOは「SOFC技術開発ロードマップ」を策定し、初期導入～普及までの技術開発課題、開発目標仕様等を整理し、ステークホルダー間で共有している。

さらに、2009年8月には、SOFCシステムが実際に実用化・商品化される際のユーザーとなるガス会社（大阪ガス、東邦ガス、西部ガス）、石油会社（新日本石油、出光興産、ジャパンエナジー）、電力会社（東京電力、北海道電力、東北電力、九州電力、電源開発）、その他日本電信電話、トヨタ自動車、日産自動車、燃料電池実用化推進協議会等が出席する意見交換会を開催し、開発の方向性や実用化に向けての戦略について議論している。

### (2) 知財マネジメント

本事業の成果のうち、セルスタックの耐久性・信頼性の向上に係る知的財産は、各参画企業（セルスタックメーカ）の実用化・事業化において根幹となるものであり、重点的に確保した。なお、この場合においては、参画企業個別の戦略は尊重している。また、権利化した特許については逐次、報告書をNEDOに提出することを義務付け、NEDOにおいて本事業の知的財産の権利化動向を把握するものとしている。2011年度までの4年間の出願特許は、計52件となっている。

一方、大学・研究機関が主に実施する基礎的・共通的な研究で得られる解析評価・分析手法等に係る知的財産は、今後、「基盤コンソーシアム会議」において知的財産権取得の是非を議論し、権利化すべきものとそうでないものに仕分する予定である。また、国際標準化に資するデータについては日本電機工業会（JEMA）等の委員会・WGに対して積極的に提供するものとする。

## 3. 情勢変化への対応等

SOFC形家庭用燃料電池（エネファーム）の一般発売が2011年10月JX日鉱日石エネルギーにより、2012年4月大阪ガスにより開始された。一般発売が早期に開始されたのは、本事業の成果に負うところも大きい。本格普及へ向けては低コスト化や耐久性・信頼性の向上やなど残された課題も多い。耐久性・信頼性の向上と低コスト化を両立するためには、劣化機構の解明と加速劣化因子の抽出、劣化対策の立案・検証、余寿命式の確立等を産学が協調して進める本事業のような取り組みが引き続き必要不可欠である。

#### 4. 中間評価結果への対応

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による中間評価を平成22年度に実施し、同評価結果や評価時のコメント等を平成22年度以降の本事業の推進・研究開発に反映させた。

主な指摘事項及び対応は以下の通り。

中間目標（課題の解明と今後の方策）と最終目標（実用にかかなり近い寿命とコスト）の間にかかなりの隔たりがあり、最終目標に向けたハードルは一層厳しくなる。また、コスト削減への道筋については再考することが望ましい。起動停止・負荷変動時の性能低下問題の解決は、本プロジェクトで掲げる集学的取り組みの効果が試される。

今後のSOFCの実用化において、2015年前後の初期導入を計画通り実施できるかが大きな分岐点になると考えられる。初期導入時の小容量定置用システムの用途として、家庭用コジェネレーションを挙げているが、現在導入中のPEFC（固体高分子形燃料電池）との差別化をより明確にすることが望まれる。

製造法の改善、各部材の改良、およびシステムの面から各機関が今以上の効率的な連携関係を構築し、実用化に繋げ、大きな産業分野への道筋をつけて貰いたい。

高温で発熱反応を行うSOFCでは、局所温度による材料の変質が問題であり、熱の専門家によるシミュレーションが重要である。今後、化学や材料の専門家だけでなく、熱の専門家も開発グループに加えるべきではないかと考える。

実用化に向けてSOFCの多様な形式を追求することの重要性は理解できるが、スタック材料のコスト評価が可能なデータが得られつつあることから、NEDOあるいは外部評価組織が低コスト化を含めたSOFCの形式の選定による集中化を検討する必要がある。

固体酸化物形燃料電池の実用化のためには、大型化による高効率化をターゲットにするべきである。今後、大型化を検討する際には、小規模なセル実験では出てこない熱的な問題が出てくるのが考えられるので、研究チームに熱の専門家を入れていただきたい。

##### 【対処方針】

現時点での耐久性、コスト等の実績も踏まえ、技術開発対象(スタック形式、スタック形式に応じた用途、システムの規模・構成、運転条件等)の絞り込みを行い、最終目標達成に向けて計画を見直す。

本事業で取り組んだセル原材料の低コスト化については、コスト目標実現の見通しが得られ、今後は各メーカーに固有の製造プロセスの開発の中で取り組んでいくべきものであることから、前倒しの終了とする。

本プロジェクトのワーキンググループの一つである「運用性 WG」等のテーマとして取り上げ、PEFC に対する SOFC の強み(高発電効率)と弱み(起動停止性)を見極めながら、差別化の方向性を検討していく。

従来から展示会、NEDO 成果報告会、各種講演を通じて情報発信に努めてきたところ。ご指摘を踏まえ、今後は更に努力するものとし、SOFC の開発の意義を広く一般に伝えていく。

現在開発中の 30okW 級 SOFC-MGT 複合発電システムの検証を行い、その結果を踏まえ、更なる大型化・高効率化をターゲットにした開発について検討する。

## 5. 評価に関する事項

本事業に対し、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について評価を行うと共に、各研究開発項目毎に、進捗及び成果達成状況、実用化の見通し等の中間評価を行い、研究開発計画・実用化見通しに反映した。

### III. 研究開発成果について

#### 1. 基礎的・共通的課題のための研究開発

##### 1. 1 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

###### (1) 事業概要

SOFCの開発は、材料間の化学的両立性、機械的両立性を保持しつつ材料選択、プロセッシング、スタック構造の開発の一体化された進展が必要とされる。近年、種々あるスタック構造についてそれぞれ大きな進展をとげ、実用的導入期への準備段階に入り、効率とともに耐久性・信頼性が重要な課題となっている。他方、燃料電池の劣化の把握、劣化機構の解明、改良の検証には多くの労力と長い期間が必要とされると予想され、早期に取り組むべき課題であることも「SOFC 将来構想に関する提言」で指摘されてきたところである。

「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」（平成16年度—19年度）では、10kW～20kW級の燃料電池システムの技術開発を実施し、3,000時間の耐久試験などにより、市場導入するために必要な技術課題を抽出した。特に、「固体酸化物形燃料電池要素技術開発」（平成17年度—19年度）での「信頼性向上に関する研究開発」において耐久性・信頼性に関する問題点の把握と改良を行ってきた。その成果と課題を表III-1.1-1に示す。また、「固体酸化物形燃料電池実証研究」（平成19年度より開始）では、小容量のシステムの実負荷条件での技術課題を抽出している。

本計画では、前プロジェクト「信頼性向上に関する研究開発」などで産業技術総合研究所および電力中央研究所がSOFCスタック製造会社と連携し行ってきたスタック・モジュールレベルでの劣化現象解明を更に継続深化するために、大学などの基礎研究を担う研究機関の参画を得て集学的に取り組むこととともに、産官学の強固な連携の下に、4万時間の耐久性（0.25%/1,000時間以下の劣化率の実現）および250回の起動停止における耐久性・信頼性の見通しを得るために基礎研究を行うことを目的としている。また、最短の期間で長期間の耐久性を見通すために、従来SOFCでは難しいと指摘されてきた加速試験法についても検討することを目的としている。

###### (2) 事業目標（設定の理由も含め）

###### a. 目標

本事業全体の目標が4万時間の耐久性（0.25%/1,000時間以下の劣化率の実現）および250回の起動停止における耐久性・信頼性の見通しを得ることであるため、本テーマ「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」では、スタックの長期運転を行い、集学的取り組みを強化して劣化現象の物理化学的な総合的理解を得るとともに、加速試験に焦点を当て、実証研究事業との強い連携を意識しつつ、次の項目を実施することにした。

###### (a) スタック長期運転並びに起動停止時の信頼性評価

各スタック開発者が産総研と協力して、数千時間程度の長期運転並びに起動・稼働・停止実験を行い、劣化挙動を見極めると同時に劣化挙動の解析を行い、改良点などの抽出を行う。中間評価までに長期試験を複数回行うとともに短期的な運転と起動停止を連動させた試験を行い、性能低下を観測するとともに、試験後解体調査し、劣化現象の把握と劣化機構の解明を行う。

###### (b) 劣化機構の解明、加速試験方法の確立

SOFCの耐久性・信頼性向上のために、熱力学的解析、化学的解析及び機械的解析により、劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立を目指す。特に電気化学的性能に大きな影響を与える三相界面については、劣化現象と微細構造変化の相関付けを行う。またユーザーが容易に余寿命を評価できるような耐久性評価手法を確立する。

中間目標として、それぞれ劣化因子を系統的に測定したうえで、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。更に劣化対策を立案し、その効果の検証を行うとともに加速劣化因子を抽出する。三相界面の微細構造の測定技術を確立し、微細構造の経時変化を明らかにする。耐久性評価手法では、セルスタックレベルにおいて、劣化要因分析技術を確立し、ユーザーが容易に余寿命を評価できる余寿命式を提案する。

### (c) 統括とまとめ

PL および産総研が中心となり、スタックメーカー、産総研、電中研ならびに各大学における劣化機構解明の進捗状況をまとめ、集学的成果が得られるように常にプロジェクトの進捗状況を把握するとともに、取りまとめ業務を行う。

#### b. 目標設定の経緯

スタックの耐久性（4万時間耐久）の目標は、前プロジェクト「信頼性向上に関する研究開発」で4万時間の耐久が未達であったことから再び4万時間が設定され、起動停止に関する目標は前プロジェクト「システム技術開発」において定置形の実用的な運用では起動停止に対する信頼性が重要であることから設定された。

長期間の耐久性を最短の検討時間で確立するためには、次のことが相補的に行われる必要がある。

- ① 少なくとも数千時間～数万時間の耐久試験並びに複数回の起動停止試験を実施して劣化率を測定し、その程度を把握する。
- ② 加速試験法の適用によって、試験期間を超えた長時間におよび耐久性を展望する。
- ③ 劣化機構解明を行い、加速試験法の基礎を与えると同時に、寿命予測法を確立する。

他方、SOFCの劣化現象には次のような特徴が認められる。

- ① スタック毎に劣化部位・挙動が異なる。したがって、ボタンセルだけの劣化挙動解析だけではダメで、実機セル、実スタック、実システムを用いた試験が不可欠となる。
- ② SOFCの場合には、包括的な加速劣化試験法の適用は困難であり、実際的には単一の加速劣化法はないと予想されている。たとえば、運転温度を上げると全ての劣化現象が加速されるのであれば容易であるが、低温化で加速される劣化もあるため、単純ではない。
- ③ 劣化機構解明なしの加速試験法は取り扱っている現象が複雑なため成立しない。このため、個別劣化現象の劣化機構解明が先決すべきものとなる。

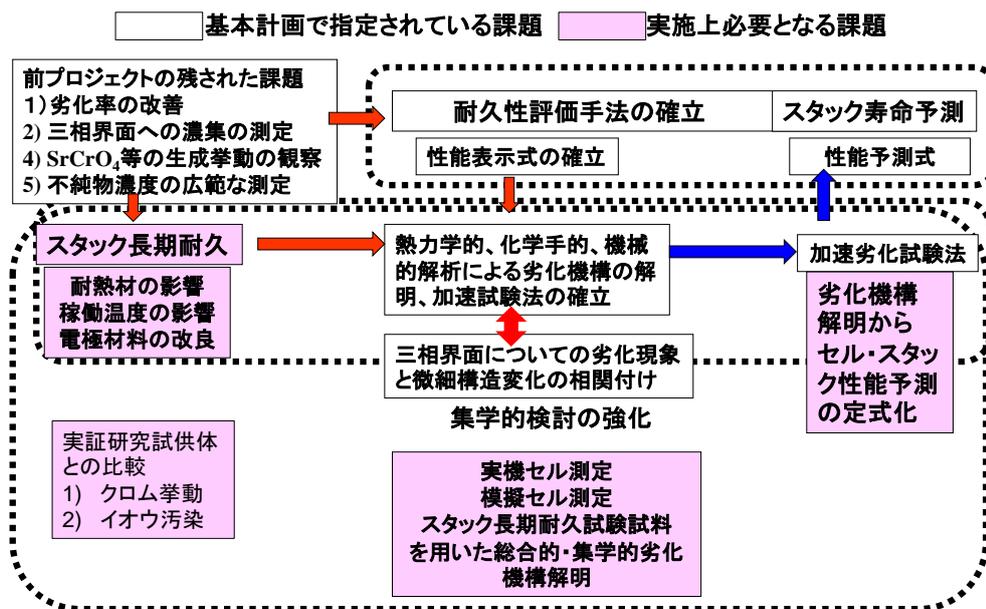
本プロジェクトでの目標は、従って次のような構成になっている。

- ① 劣化機構解明から、加速試験法の立案と適用とをセットにした課題。「熱力学的解析」「化学的解析」「機械的解析」のいずれも同種の目標となっている。異なる側面から劣化を検討することになるが、いずれの課題でも、パラメータとして変化させるべき物理量を基準にして加速試験を行うことを想定している。
- ② 三相界面における電極微構造と劣化とを関連づける課題では、加速劣化試験は想定はされていない。この課題では、電気化学的劣化現象に対してより総合的・集学的に対処することを想定しているためである。他の「熱力学的解析」「化学的解析」「機械的解析」も相互に三相界面グループと連携を図り、全体として統一のとれた発展をなされることを期待している。
- ③ 劣化機構解明の成果は、スタックに反映されなければならない。従って、そのためにはスタックの性能評価と微視的な性能評価との相関付けを明確にして置くとともに、性能の経時変化より劣化部位を明らかにすること、また劣化機構解明の成果を性能表示式に取り込むことによって寿命予測へ結びつけていくことが重要となる。

加速試験は、その適用性自身が未だ明確になっていないため、中間目標まではあまり複雑な現象を対象とせず、中間評価以降、複数の要因が絡む現象へと進展していくことが想定されている。

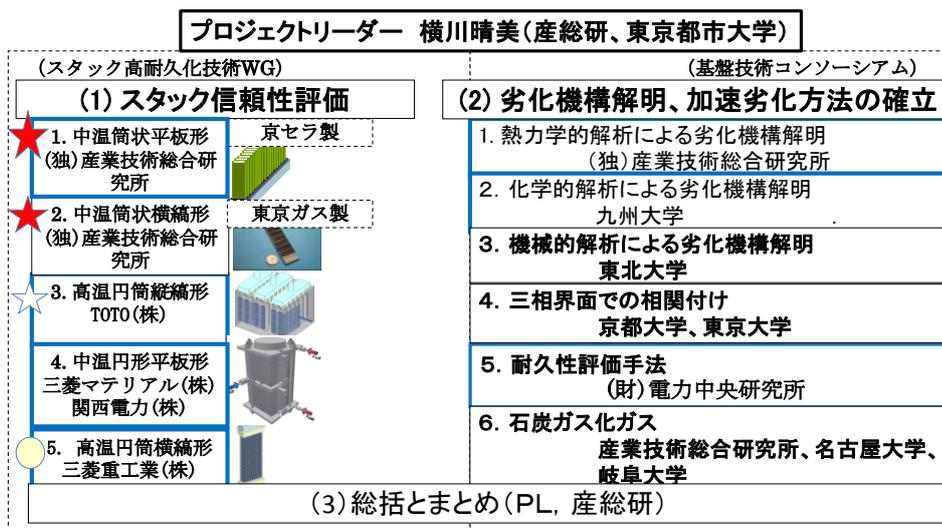
c. 研究体制と研究スケジュール

基本計画で記載されている課題ならびに目標を遂行していくためには、スタックメーカー側との強力な産官学連携を推進する必要がある。課題的に表現すると図Ⅲ-1.1-1 のようになる。それぞれのスタック自身の長期耐久性を行う試験の他、前プロジェクトで明らかになった個別課題の検討の他に、劣化現象の機構解明のためにはスタックレベル、実機セルレベルでの劣化現象をプロジェクト内で共有するとともに、加速試験、性能予測などはスタックレベルでの検証も必要となる。



図Ⅲ-1.1-1 基本計画に記載された課題と実施上必要となる課題並びに相互連携関係

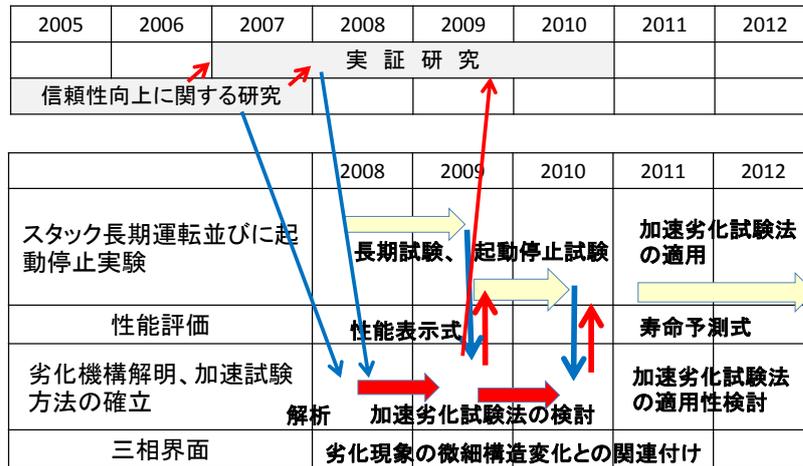
次に研究体制図を図Ⅲ-1.1-2 に示す。上述したスタックに関連するものとしてスタック信頼性評価として5スタックが参画する。



図Ⅲ-1.1-2 研究体制図

実施開始当初は、スタック側と基盤側の相互連携があまり進展せず、有効な結果もでない状況であったので、産官学連携を強化するために、スタック側で既に手元にある長期耐久試験などの試料を組織的に基盤側へ提供するように調整し、連携が活発になるようにアレンジした。研究スケジュール並びにスタック側と基盤側の試料交換を軸にした連携関係を図III-1.1-3に示す。

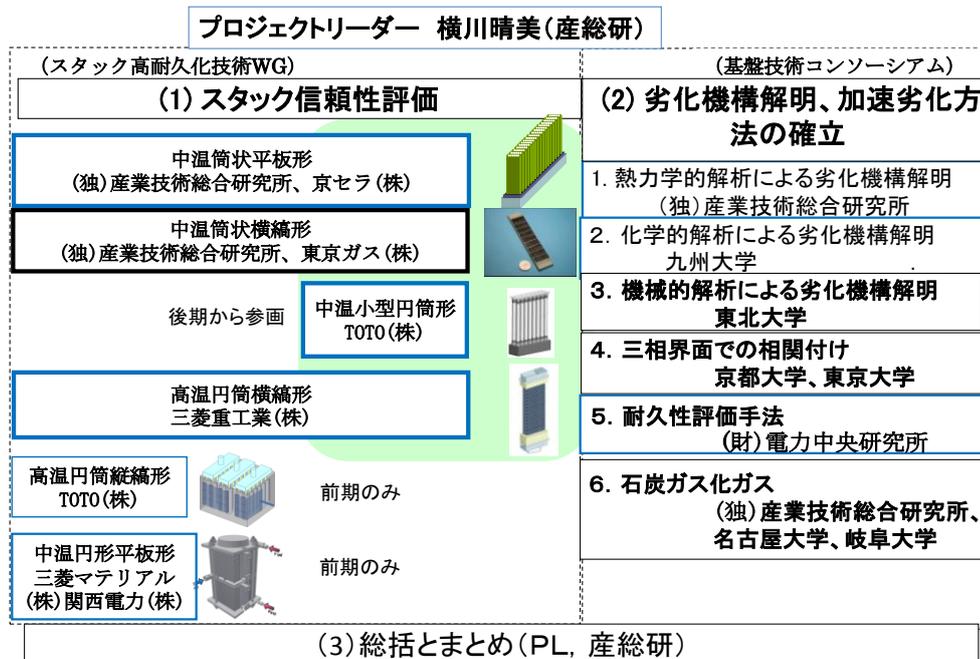
スタック改善と基盤技術開発の相互連携の模式図



図III-1.1-3 研究スケジュールと連携関係

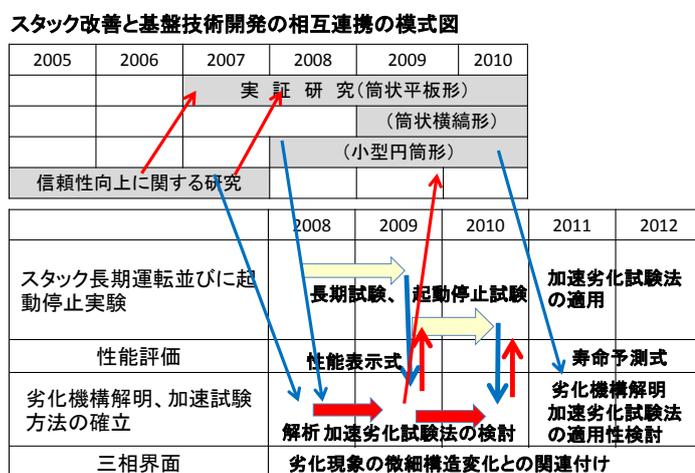
d 後期研究体制および連携関係の強化

前期に参画していた円筒縦縞形ならびに円形平板形が本プロジェクトから去り、新たにTOTOが開発している小型円筒形が参画した。



図III-1.1-4 後期の研究体制図

また、基盤側とスタック側の連携を強化するために各スタックのどの劣化課題について優先的に検討するかを明確化し、劣化機構解明に取り組むこととした。加速劣化試験法の提案・検討は、スタック側が行い、適用性の検討を詳細に基盤側が担当することとした。



図Ⅲ-1.1-5 研究スケジュールと連携関係(後期課題改訂後)

### (3) 事業成果

#### a. 事業成果、達成度(前期)

本プロジェクトで取り上げている5スタック構造のうち4スタック構造については、前プロジェクト「信頼性向上に関する基礎研究」で取り上げているので、各スタックの5,000時間以上運転した実績並びに今後の課題として残されたものを表Ⅲ-1.1-1に示す。

表Ⅲ-1.1-1 前プロジェクト「信頼性向上に関する研究開発」成果と今後の課題

形式	平均劣化率 /1,000時間	抽出された問題点
円筒横縞 (スタック)	0.83 % 0.61 %	Cr 被毒対策(コーティング、クロム蒸発対策、耐性向上); 性能改善; Redox 対策
筒状平板 (スタック)	1.5 % 0.9 %	セル接続金属の耐久性向上(材料、コーティング方法の検討); 劣化機構の解明と加速評価法の確立; Redox 対策
円筒縦縞 (モジュール)	1.6 % 1.67 %	不純物元素と耐久性の見極め; 廉価な断熱材の使用可能性; 電解質・インターコネクットの改良・最適化
円形平板 (モジュール)	0.54 % 0.81 %	不純物の供給源の特定; 劣化要因と劣化率との相関; より長期的な現象の把握; 化学的・機械的相互作用; Redox 対策

5 スタック構造について抽出された課題を解決するために新たに数千時間程度の長期間運転並びに起動停止実験を行うとともに、劣化現象解明を集学的に行うため、二次イオン質量分析計(SIMS)による物質移動過程の調査・解析(産総研)、集束イオンビーム型走査電子顕微鏡(FIB-SEM)による電極構造の変化と劣化との相関の検討(東大・京大)、走査透過型電子顕微鏡(S-TEM)による微小領域における化学変化・構造変化の解析(九大)、種々の機械的性質の測定と解析(東北大学)を実機セルに適用し、共通的特徴を明らかにするとともに個別スタック毎の特徴を明らかにした。また、電極が関与する劣化現象の一般的モデルを構築し、加速劣化試験法の基盤を構築した。各スタック毎に明らかにされた劣化現象と製造工程との関連、改善法などについての整理を行った。

(a) スタック長期運転並びに起動停止時の信頼性評価

まず最初に、前期におけるスタック劣化挙動解析と耐久性・信頼性の現状と課題を総括的に表Ⅲ-1.1-2 にまとめて示す。

表Ⅲ-1.1-2 各スタック・モジュールにおける個別の試験結果、検討劣化要因および今後の課題

形式	前プロジェクト		耐久性試験結果	起動停止試験結果	検討劣化要因	今後の課題
	結果	抽出課題				
中温筒状 平板形	1.5% /1,000h	空気極/電解質界面の Sr 拡散 セル接続金属の酸化被膜増大、Cr 蒸発、不純物	0.7% /1,000h	0.01% /回	空気極中間層 セル接続金属	コーティング法の検討；コーティング材の最適化
中温筒状 横縞形	(参画せず)		0.31% /1,000h	0.008% /回	微小リーク 中間層 Sr 拡散 空気極 Cr 被毒	空気極中間層の一層の改良 不純物の影響の評価
高温円筒 縦縞形	耐久性： 1.7% /1,000 h； 起動停止 7.6% /12 回)	電解質の安定性 酸化物 IC 安定性 燃料極	1.1% /1,000h	1.4% /CSS8 回 + HSS47 回	電解質粉末化 燃料極 Ni 粒子移動、凝集 インターコネクター 緻密性不足 仕切り板からのリーク	・電解質粉末化および燃料極 Ni 粒子移動、凝集の原因究明と対策立案 インターコネクター 緻密性向上 仕切り板構造見直し
中温円形 平板形	耐久性： 0.51% /1,000h 3.6%/40 回 熱サイクル	電解質の信頼性 燃料極凝集 金属 IC	0.30% /1000h	0.045% /回	・燃料極中の Ni 凝集 ・セパレータからの金属の蒸発	・Ni 凝集と劣化率との関連把握と対策 ・発電セルの破損防止対策
高温円筒 横縞形	0.83% /1,000h	クロム被毒 空気極信頼性	0.76% /1,000h		・空気極 ・Cr 被毒	・空気極中間層の最適化

以下では個別スタック毎の中間評価までの進捗状況を表で表す。

i. 中温筒状平板形耐久性の評価

表Ⅲ-1.1-3 中温筒状平板形の進捗状況と展望

	プロジェクト開始時			現状	目標達成までの展望
	劣化率 2000h以降	劣化要因	対策・改善	劣化率 2000h以降	
単セル	0.55%/1000h	空気極/電解質界面でのSr拡散	中間層組織改善 中間層厚み均一化	0.08%/1000h	熱加速により4万時間後のSrの影響予測。 影響少ない。
スタック	1.5%/1000h	セル接続金属における酸化皮膜増大と抵抗増	金属のコーティング改善中	0.7%/1000h	コーティング法の検討。 コーティング剤の最適化。 電流密度低減によるジュール熱低下。
		接続合金、マニホールなどの金属成分からのCr蒸発	集電金属以外の金属部コーティング		
		構成部材、断熱材などからの不純物飛散	不純物飛散部の特定をし、部材等の改善中		

ii. 中温筒状横縞形耐久性の評価

表Ⅲ-1.1-4 中温筒状横縞形の進捗状況と展望

劣化現象	劣化要因 (特定出来た部分)	耐久性への影響度	対策・改善	目標達成までの展望
局所再酸化	微小ピンホールの増大	(評価中)	影響・挙動の把握	微小ピンホール導入試験 (東北大)等により確認
電解質近傍でのオーム損増大	空気極/電解質界面でのSr拡散	大	反応防止層改善	2010年度に改善効果検証
			反応性の抑制検討	現象機構などを検討
アノード過電圧増加	燃料不純物	中	劣化の定量的把握	S被毒試験(九大)により影響度把握、設計へ活用
上流・端部セルの劣化	空気極のCr被毒	小	Cr供給源の表面コーティング	一部済 2010年度試験で更に改善

iii. 高温円筒縦縞形耐久性の評価

表Ⅲ-1.1-5 高温円筒縦縞形の進捗状況と展望

現象	劣化要因	耐久性への影響度	対策・改善	目標達成までの展望
非発電部の電解質粉末化	空気極からの元素拡散など	極大	製造条件見直しによる元素拡散抑制	・劣化原因究明 ・対策セル分析、効果検証
燃料極中間層Ni粒子焼結、移動	現在調査中	大	FIB-SEM, S-TEMで分析中	・原因究明、対策立案
インターコネクター/中間層の微構造変化	・インターコネクター緻密性不足 ・断熱材、金属からの不純物元素の混入	中	インターコネクター膜高充填化、ガス気密性向上	耐久試験による効果検証
燃料極中間層へのSi, Pの濃集	・断熱材、金属からの不純物の混入	小	断熱材使用量低減	不純物の耐久性にもたらす影響の定量化

iv. 中温円形平板形耐久性の評価

表III-1.1-6 中温円形平板形の進捗状況と展望

劣化現象	劣化要因	耐久性への影響度	対策・改善	目標達成までの展望
燃料極の性能低下	・燃料極中の Ni の凝集 (粗大化)	大	・燃料極の組成変化により焼結性を向上して Ni の粗大化防止 ・燃料極焼結温度の上昇	これまでの改良により劣化率低減を確認。Ni 凝集と劣化との把握により、更なる耐久性の向上が見込まれる。
セルの破損	・電解質中の欠陥 ・セルの熱膨張収縮 ・セパレータが及ぼす変形応力	大	・電解質均質性の向上により高強度化 ・応力解析を実施予定	セル破損防止策と影響を研究機関と連携して対策を進めており、課題克服が見込まれる。
不純物の堆積	・燃料、空気から供給 ・セパレータ金属からの蒸発	中	・特定不純物 (S) 等の影響を研究機関と調査中	不純物が燃料極中の Ni 凝集を促す可能性について、研究機関と精査しており、今後、劣化に対する影響度が解明される。

v. 高温円筒横縞形耐久性の評価

表III-1.1-7 高温円筒横縞形の進捗状況と展望

劣化現象	抽出された劣化要因	推定原因	耐久性への影響度	対策	目標達成のための展望
空気極過電圧とIR損が増加	空気極/電解質界面での経時的なCrの濃集	空気供給/排出用の金属管(スタック試験装置固有)からのCr蒸発	大	セラミックス管へ変更	Cr堆積量の低減を確認
	・LSM-YSZ中間層の減肉 ・LSM-YSZ界面(中間層/電解質、中間層内)において、ポアが経時的に生成し増加 ・LSM-YSZ中間層においてCa、Mn、Yの移動およびY消失ZrO <sub>2</sub> 層(m相)、(Ca,Sr)ZrO <sub>3</sub> 、(Zr,Mn,Ca,Y)O <sub>2</sub> 層、(La,Sr,Ca,Y)MnO <sub>3</sub> 層の生成	・空気極導電層/中間層材料組成 ・製造条件(焼成温度、膜厚等) ・緻密な中間層	大	・中間層材料(LSM-YSZからSDCへ)と製造条件を変更 ・中間層の多孔質化	SDC中間層の耐久性検証および劣化要因の抽出 →耐久性は改善されたが、中間層および中間層/導電層界面に緻密層形成、活性点にポイド生成
電解質ラップ部インタコネクタの緻密度不足(初期組織)	電解質ラップ部インタコネクタの緻密度不足(初期組織)	インタコネクタの焼結不足	小	焼結性向上により密度向上	対策済
	空気極寄りのインタコネクタにポイドが経時的に生成し増加	製造時にインタコネクタ粒界に拡散したCaが移動	中	空気極組成、製造条件適正化	要素技術検討

(b) 劣化機構の解明、加速試験方法の確立（前期）

この課題が最も重要な箇所であるが、本節では各課題の成果を個別的に示し、集学的な取り組みは、次節（4）総括とまとめおよび（5）成果の意義で成果を示すこととする。

i. 熱力学的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立

5つの異なるSOFCスタックにおける不純物蓄積濃度、界面元素移動量などを二次イオン質量分析計(SIMS)で測定し、劣化との相関を明らかにした。反応速度論データの取得と相平衡計算、実験により劣化基礎データを集積した。加速劣化試験法として、SO<sub>2</sub>被毒、CrO<sub>3</sub>被毒を空気極に対して検討し、供給量が指標として適用できることを解明した。

表III-1.1-8 熱力学的解析の中間目標、進捗および成果

研究開発項目	中間目標	中間評価までの進捗、成果
①「スタックの劣化挙動解析とまとめ」	(中間目標)スタックでの物質移動(不純物との反応)・劣化要因・機構の解明 (最終目標)電圧低下率0.25%/1000時間	<ul style="list-style-type: none"> <li>・前プロジェクトを受けて、改良セルを搭載したスタックの耐久試験後(2000-5000h)の不純物分析をSIMSでおこなった。</li> <li>・これまで検出された不純物について、劣化機構の体系化をおこなった(Cr被毒及びS被毒の例)。さらに、P, Cl等の不純物についての影響を検討した。</li> <li>・スタック劣化要因の解明と対策の提言(当初電圧劣化率0.5%/1000hレベルから0.3%/1000h以下を見通す段階へ)をおこなった。</li> </ul>
②「劣化基礎データの共通基盤化」	物質移動量測定・寿命予測に必要な界面での元素・カチオン拡散係数、駆動力判断のための化学ポテンシャル図、などの劣化基礎データの集積	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空気極((La,Sr)(Fe)O<sub>3</sub>)/中間層Gd<sub>0.2</sub>Ce<sub>0.8</sub>O<sub>2</sub>界面での元素相互拡散現象解明、拡散係数の集積(1000-1100°Cの領域)をおこなった。→長期運転時の寿命、安定性予測を可能に</li> <li>・不純物が関与する構成材料界面での相平衡図(化学ポテンシャル図)を構築すると共に実験的な検証をおこなった。</li> <li>・燃料極酸化物、電解質材料における相変態現象を発見し、劣化に及ぼす影響について解明した。</li> </ul>
③「反応駆動力と輸送量を制御した加速劣化試験法の確立」	加速劣化試験法として適用できる指標の抽出	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SO<sub>2</sub>による被毒の解析では、SO<sub>2</sub>濃度を1-100ppmで変化させ、(Sm,Sr)CoO<sub>3</sub>空気極での電極性能低下との相関を解明した</li> <li>・Cr蒸気による劣化に関して、空気極材料による化学的反応性と電極反応機構の相違によるCr蓄積分布、凝集量を解明すると共に寿命予測を検討した。</li> </ul>

ii. 化学的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立

一般不純物を一種類ずつ電池セルに供給して、1000 時間前後の長時間耐久性を実測することで化学劣化メカニズムを分類体系化することができた（国際賞受賞）。並行して世界でも例のない、スタックメーカー5 社の実セルの被毒耐久試験を本格開始するとともに、長時間試験後の企業セルの電子顕微鏡（STEM）観察によって拡散を伴う化学劣化機構を明確化した。

表III-1.1-9 化学的解析の中間目標、進捗および成果

研究開発項目	中間目標	中間評価までの進捗、成果
①化学的劣化メカニズムの解明と長時間被毒要因の体系化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・数ヶ月（数千時間）スケールでの主要不純物種による劣化挙動とサイクル特性の測定評価</li> <li>・主要元素について、数千時間までの化学的劣化要因の体系化と加速試験法の提案</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主要被毒種のうち、<u>硫黄、塩素、リン、ホウ素、シロキサン</u>については、<u>数十～最長 3,000 時間の被毒試験を実施し、性能変化と微細構造変化の実測結果から長時間被毒メカニズムを解明。</u></li> <li>・<u>アルカリ金属元素やアルカリ土類元素</u>についても短時間の被毒試験を開始。</li> <li>・被毒挙動の不純物濃度依存性から、<u>許容濃度を試算。</u></li> <li>・量子化学計算によって、<u>原子レベルでのミクロな被毒メカニズムを解明。</u></li> </ul>
②実燃料・用途対応型の次世代 SOFC の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・千時間までの電圧低下低減を実現できる耐被毒電極材料の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電極反応場を高く保持する<u>遷移金属成分添加アノードを開発し、3,000 時間までの耐久試験を実施して、硫黄による電圧低下の抑制効果を確認。</u></li> </ul>
③実セル・スタックレベルの被毒劣化モデルの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一次元の発電特性劣化モデルの構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料利用率を変えた被毒試験を実施し、システム上流から下流（一次元）で硫黄被毒挙動に大きな差がないことを確認。</li> <li>・実機での被毒挙動解明に向け、<u>スタックメーカー5 社の実セルの被毒耐久試験を開始。</u></li> <li>・長時間（10,000 時間まで）試験後の企業実セルの電子顕微鏡観察（STEM）で<u>拡散種による化学劣化メカニズムを解明。</u></li> </ul>

### iii. 機械的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立

スタックの機械的損傷の発生時期を AE 法によって特定するとともに、抽出した劣化因子に関する模擬セル試験装置を作製し、応力分布および形状変化の測定を実施した。これらの結果を再現するシミュレーションコードを開発し必要な基礎物性、機械的特性を取得・定式化した。

表Ⅲ-1.1-10 機械的解析の中間目標、進捗および成果

研究開発項目	中間目標	中間評価までの進捗、成果
①セル・スタック評価	機械的損傷が関与する劣化現象の特徴を抽出。負荷因子を把握し、劣化現象との対応関係を解明。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機械的損傷の特徴をセルスタックの対称性に着目して整理した。実スタックでの損傷発生をアコースティックエミッション (AE) 法で検出する手法を開発した。</li> <li>・実スタックでの、<u>負荷因子と劣化現象の対応関係</u>を調査し、①強拘束スタックでの熱・化学膨張による応力発生とセルの破壊、②弱拘束スタックでの非対称セルの変形とセル間接合の劣化③薄膜電解質の初期欠陥周囲のガスリークと亀裂の伸展、を共通性の高い課題として抽出した。</li> </ul>
②模擬セルによる検証	機械的劣化現象の特徴を抽象化して再現する模擬セルと、負荷印加試験装置を試作。劣化因子の影響を定量評価する過負荷試験法を確立。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・強拘束平板模擬セルへの応力発生をその場ラマン分光により評価した。また苛酷試験時の亀裂伸展を、位置分解 AE 法で明らかにした。基礎データと微細構造に基づく均質化応力計算により、これらの現象を半定量的に説明する結果を得た。より精密な計算にはクリープ変形の取扱が必要であることが分かった。</li> <li>・弱拘束非対称模擬セルの形状変化をレーザー変位計によるその場測定で定量化した。熱膨張と還元膨張による変形が異なる時定数で影響することがわかった。急速昇降温時のスタックの AE 測定を行い、初期変形時以降には接合が安定化することを確認した。</li> <li>・<u>ピンホールを有する薄膜電解質</u>の欠陥周辺部のラマン分光測定を行い、酸化還元とともに周辺の電解質の残留応力を測定し得ることを確認した。</li> </ul>
③基礎データ取得・整備	セルを構成する主要材料の物性データ、機械的特性データを整備・取得し、データベース化。必要な実験手法およびシミュレーション手法を開発・高度化。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<math>(\text{La,Sr})(\text{Co,Fe})\text{O}_3</math>、<math>(\text{La,Sr})(\text{Ga,Mg,Co})\text{O}_3</math> について酸素の不定比性および格子定数の測定を行い、欠陥平衡モデルに基づいて定式化した。</li> <li>・YSZ、ScSZ、<math>\text{CeO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3</math>、<math>\text{CeO}_2\text{-Sm}_2\text{O}_3</math>、<math>(\text{La,Sr})(\text{Ga,Mg,Co})\text{O}_3</math> について、共振法、スモールパンチ試験または4点曲げ試験を制御雰囲気下で実施し、弾性率と破壊強度を取得した。</li> <li>・Ni サーメットの高温曲げ特性を測定し、高温還元雰囲気中で延性が生じることを見いだした。</li> <li>・構成材料の酸素不定比性、混合導電性、高温機械特性を考慮して酸素ポテンシャル勾配の形成と応力の発生を計算するコードを開発した。</li> <li>・電極の微細構造の影響を均質化法に基づいて取り入れる応力解析手法を開発した。</li> <li>・第一原理計算による Ni-YSZ 界面エネルギーの計算と、これに基づく粒子凝集の計算に着手した。</li> </ul>

iv. 三相界面についての劣化現象と微細構造変化の相関付け

SOFC の様々な作動条件下で起こる劣化条件を集積するとともに、劣化前後のセルを微構造観察機器(FIB-SEM や FE-TEM) を用いて観察した。FIB-SEM を用いた電極の三次元再構築を行い、解析手法の精度評価、三相界面長さなどの構造パラメータと性能の相関評価、過電圧予測や電気化学ポテンシャル分布の予測を実施した。

表Ⅲ-1.1-11 三相界面の中間目標、進捗および成果

研究開発項目	中間目標	中間評価までの進捗、成果
1) 各種運転条件下の劣化挙動観察	様々な劣化条件下で、実セルまたはモデルセルの電気化学的な劣化挙動に関するデータを蓄積。得られた劣化条件を他の項目と共有。	<ul style="list-style-type: none"> <li>様々な条件下において起こる電気化学的な劣化・活性化挙動に関するデータ収集（アノード；・過剰水蒸気，酸化還元，炭素析出，カソード；LSM/YSZ 界面で起こる初期通電効果）</li> <li>他の実施項目と劣化条件を共有し，研究を加速。</li> </ul>
2) セルの評価・診断と劣化要因の抽出	三相界面近傍の微細構造及び局所組成分析、結晶相の同定及び構造解析、表面組成分析等を行い、劣化速度パラメータに関連した現象を抽出。	<ul style="list-style-type: none"> <li>FIB-SEM を用いて劣化前後の電極の三相界面長さや構成成分の分布変化を定量化（過剰水蒸気および酸化還元劣化時）。</li> <li>FE-TEM を用いて LSM/YSZ 界面のナノスケール微細構造および局所組成の解析を実施し，通電による格子欠陥の変化を明確化。</li> <li>長時間運転試験に供した企業セル（5 社）の電極微構造変化を FIB-SEM を用いて定量化し，劣化要因との相関を明確化。</li> </ul>
3) 三次元微構造の直接測定とデータベースの構築	FIB-SEM を用いてモデルセルの電極微構造の二次元スライス画像を取得する。画像処理により三次元電極構造を再構築し、構造データから微構造パラメータを集積。	<ul style="list-style-type: none"> <li>FIB-SEM を用いて取得した二次元断面画像から三次元再構築画像を取得する手法を確立。</li> <li>三相界面抽出法として領域拡張法および重心法を提案し，信頼性の高いデータを取得する手法を確立。</li> <li>三相界面抽出法および屈曲度ファクタ定量法の精度検証を行い，精度が保たれる空間解像度を明確化。</li> <li>同一セルから撮像領域の異なる三次元構造を再構築し，微細構造パラメータに及ぼす撮像サイズの影響を明確化。</li> </ul>
4) 三次元微構造データに基づくシミュレーション技術開発	炭素析出および Redox による劣化前後のモデルセルを用いた実験を行い，発電を行ったセルの微構造を観察し，得られた微構造パラメータをシミュレーションモデルに反映。	<ul style="list-style-type: none"> <li>取得した電極の微構造データを用いた平均化モデルによるアノード次元計算から過電圧を予測し，実測値と良い一致を示すことを明らかにした。</li> <li>イオン・電子・ガス種の拡散と三相界面での電気化学反応を連立させた格子ボルツマン法による過電圧予測を行い，FIB-SEM 再構築構造内の三次元ポテンシャル分布を予測。交換電流密度，気相拡散モデルの精度向上が課題であることを明らかにした。</li> </ul>

v. 耐久性評価手法の確立

＜中間目標＞セルスタックレベルにおいて、劣化要因分析技術を確立し、ユーザーが容易に余寿命を評価できるような余寿命式を提案する。

以下の表のように、現状で実証試験に供される、または今後、実証試験が見込まれるセル・スタックを対象とし、5,000～8,000時間程度の長期耐久性試験を通じてスタック性能を統一的手法で評価し、劣化部位がどこであるかを明らかにした。

表Ⅲ-1.1-12 耐久性評価手法進捗状況

セルメーカー	性能表示式の形式と 耐久性試験 $Ra=a_0 \times (P_{H2})^\alpha \times (P_{H2O})^\beta$ $Rc=c_0 \times (P_{O2})^\gamma$	耐久性評価性能評価データより 電圧低下率(%/1000hr)				備考
		Anode $\eta_a$	Cathode $\eta_c$	Ohmic $\eta_{ir}$	Output V	
中温筒状平板形 (京セラ)	$\alpha=-0.5, \beta=-0.5, \gamma=0$					・800℃、750℃共に内部抵抗増加が劣化主要因
	800℃試験(19K-2),8kh	0.07	0.08	0.84	0.98	
	750℃試験(20K-3),8kh	0.06	0.04	0.25	0.27	
	700℃試験(21K-2),1kh経過	-	-	-	-	
中温筒状横縞形 (東京ガス)	$\alpha=-0.5, \beta=-0.5, \gamma=1.0$ (検討中)					・性能表示式開発
	775℃試験(21T-2),2kh	-	-	-	-	
高温円筒縦縞形 (TOTO)	$\alpha=-1.0, \beta=-1.0, \gamma=0$ (暫定) TOTO社内試験2.5kh	○	-	○		・取得データ精度が悪く、定性的評価を実施
中温円形平板形 (三菱マテリアル 関西電力)	$\alpha=-0.5, \beta=0, \gamma=1.0$					・性能表示式開発 ・改良セル2は長期安定性、改良セル3はドックス耐性向上
	改良セル2(21M-3),6kh経過	-0.19	0.04	1.05	0.79	
	改良セル3(21M-4),6kh経過	0.50	0.00	0.78	1.31	
円筒横縞形 (三菱重工業)	$\alpha=-1.0, \beta=-0.5, \gamma=0$					・4号機は空気導入管にSUS管使用 ・6号機は空気導入管にセラミクス管使用 ・7号機は空気極中間層にセラ系
	Cr被毒対策なし(4号機),10kh	-0.07	0.6	0.36	0.89	
	Cr被毒対策試験1(6号機),5kh	-0.15	0.84	0.07	0.76	
	Cr被毒対策試験2(7号機),5kh経過	0.00	-0.05	0.00	-0.11	

vi. 石炭ガス化ガス中の微量成分の影響に関する調査研究

- ① Factsage 等の熱力学平衡計算ソフトを活用して石炭固有の微量重金属成分と SOFC セル（アノード、電解質等）構成材料の間の反応挙動に関する予測（微量成分の個々の成分が単独存在している場合や複数成分が共存する場合）を行った。また、褐炭やバイオマスなどに含まれるアルカリ金属蒸気の還元雰囲気下での揮発挙動や Si との反応による固化反応に関する検討を行った。
- ② 石炭ガス化ガス模擬ガスに種々の方法で微量重金属成分等をドーブし、不純物曝露・発電試験を実施した。その結果、石炭中には Ni の溶融を促す成分や、Ni と反応し二次生成物を形成するものが存在することを明らかにした。

表Ⅲ-1.1-13 石炭ガス化ガスの中間目標、進捗および成果

研究開発項目	中間目標	中間評価までの進捗、成果
1) 熱力学的アプローチによる調査（名大、岐大）	石炭に含まれる微量成分の石炭ガス化炉内およびガス化プロセスにおける揮発・凝縮特性および分配挙動を熱力学的に検討し、SOFC アノードガスへ混入し、電極の性能低下をもたらす得る成分の絞り込みを行う。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・石炭ガス化炉内で As、P、Se などの微量成分の素反応あるいは熱力学的平衡条件から揮発・凝縮特性およびその形態について明らかにし、炉内において P などは Se や As は生成ガス中に、P はスラグなどにそれぞれ分配されることを示した。</li> <li>・石炭部分酸化型気流層ガス化プロセスにおいて、微量成分を含む石炭構成成分のガスやスラグへの分配挙動に関するモデル化を行った。その結果、揮発性の高い Hg、Cd、As 等が生成ガス中に混入する可能性が高いことを示した。</li> <li>・Ni（電極構成材）が As、P などの微量純金属と反応し、二次的生成物を形成することを示した。</li> </ul>
2) 実験的アプローチによる調査（産総研、名大、岐大）	石炭水蒸気ガス化で得た可燃性ガスあるいは EAGLE プロセスにおいて製造されている燃料の模擬ガスを用いた単セル発電試験を行い、発電性能に対する石炭ガス化ガス中微量成分の影響の有無、大小について調査を行う。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・石炭の水蒸気ガス化によって得たガスを用いた単セル発電試験において、著しい発電性能の低下と Ni の凝集が生じることが見出された。また低温灰化灰ペレット投入試験においても Ni の溶融・凝集が確認でき、石炭中微量成分によるアノードの化学的な劣化が生じることを実験的に示した。</li> <li>・炭酸ナトリウムペレット投入試験においてアノード表面への Si と Na と共晶物の析出が生じることを見出した。ガス中のわずかに存在する Si 蒸気と Na との反応生成物と考えられる。</li> </ul>

b. 事業成果（後期）

後期における事業成果は、同じようにまず全体のスタックの劣化率改善の達成状況をまとめて表Ⅲ-1.1-14 に示す。また、本プロジェクトで取り扱った劣化現象の機構解明の達成度並びに加速試験として見たときの成否などを表Ⅲ-1.1-15 にまとめた。また、（４）総括とまとめ、並びに（５）成果の意義において、共通課題の進捗状況などをまとめて示す。

表Ⅲ-1.1-14 後期対象スタックの劣化率改善の現状と今後の課題

セルメーカー	セルスタック	耐久試験電圧低下率 (%/1000 h)				起動停止後 電圧低下率	目標達成 度	残された課 題
		空気 極	燃料 極	抵抗 分	全体			
筒状平板形 (京セラ)	2008年 度機	0.09	0.05	0.12	0.26	120回で0.42%	達成	短期間で長期耐 久を見通す評価 技術
筒状横縞形 (東京ガス)		0.14 -0.04	0.12 0.12	0.37 0.40	0.63 0.24	100回0.8% (2000h耐久後)	初期劣化を のぞき達成	迅速な10年耐久 見通し手法
小型円筒形 (TOTO)	2010年 度機 2011年 度機	0.6 0.3	0 0	0 0	0.6 0.3	150回SD耐性確 認0%	空気極改善 効果が見え てきた	更なる劣化機構 解明。量産品耐 久性検証。
円筒横縞形 (三菱重工 業)	Type III Type V* Type VI	-0.02 0.09 0.01	-0.03 -0.01 -0.03	-0.04 0.09 -0.02	-0.09 0.17 -0.03	TC50回+LC200 回 0%	達成	空気極低温劣化 の改善

\* Cr源有り SD=Shut Down; TC=Thermal Cycle; LC=Load Cycle

表Ⅲ-1.1-15. 劣化機構解明の達成と加速試験の検討

劣化部 位	劣化現象	該当ス タック	機構解明	抑制策	成否	モデル 化	加速試 験成否
1. 電解質に関する信頼性							
YSZ 電解質	燃料側か ら粉化	円筒縦縞形	固溶MnOx析 出と還元	Mn固溶量 の低減	否(不 十分)	不可 (複雑)	再現実 験成功
LSGMC 電解質	限界下で のクラック	円形平板形	還元膨張で 応力集中	セル厚・径 の変更	否(コス ト両立)	前期成 果達成	成功
YSZ 電解質	正方晶化 伝導度減	筒状平板形、 筒状横縞形	NiO還元によ る促進	組成; 温度低下; m(O <sub>2</sub> )分布		1活性 化過程	◎
セリア 中間層	SrZrO <sub>3</sub> 生 成伝導度 低下	筒状平板形、 筒状横縞形	SrとZrのセリ ア中拡散	製造時Ce- Zr拡散	徐々に 改善	3段階 ステー ジ	○ 複雑 か?
2. 不純物被毒に対する耐久性							
LSM 空気極	Cr被毒	円筒横縞形	電気化学的 凝縮・揮発 の競合	過電圧減 少;セリア 層挿入	克服成 功	Cr堆積 量・性 能相関	Cr発生 は成功
LSCF・YSZ	Cr被毒 (低温)	小型円筒形	SrCrO <sub>4</sub> 生成 Sr(OH) <sub>2</sub> 発生	Cr発生減 少	成功	濃集機 構	徐々に 複雑化
LSCF・ LSGM			三相界面濃 集	Cr発生現 象	改善見 込	要検討	
Ni/酸化 物	焼結	全スタック	一部不純物	高温焼結		粒径と 性能	○

(a) スタック長期運転並びに起動停止時の信頼性評価（後期）

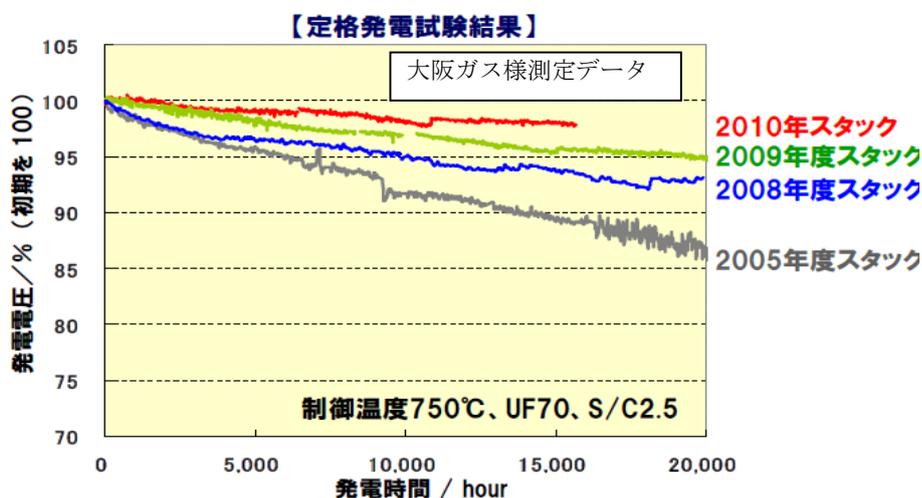
以下に後期のスタック耐久性・信頼性評価結果を示す。基盤側との連携で達成した成果もここで示す。

i. 中温筒状平板形耐久性の評価

① 耐久性・信頼性目標達成の見通し

1) スタック長期運転の信頼性評価

長期運転に対する信頼性向上に対して前プロジェクトから抽出された課題は空気極/電解質界面の Sr 拡散、ならびにセル接続金属の酸化皮膜増大であった。Sr の拡散は劣化に対する寄与を明確にする方針で、スタックの信頼性に直接影響する酸化皮膜の抑制は集電金属のコーティング法にて対策を行った。特に 2008 年度スタックを用いた耐久劣化に対する要因解析（電中研）では耐久劣化の主要因は内部抵抗増加であることが明確になり内部抵抗増加に対する対策を進めた。年度毎のスタックの耐久性推移を図Ⅲ-1.1-6 に、平均劣化率を表Ⅲ-1.1-16 に示している。年度と共に耐久性は向上し、2010 年度のスタックにて劣化率 0.16%/1000 h を達成し、40000 時間耐久の見通しが観られている。



図Ⅲ-1.1-6 各年度毎のスタック耐久性推移

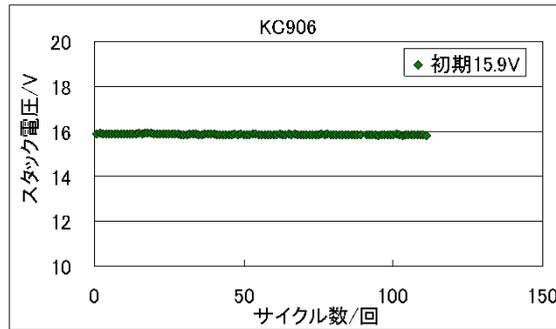
表Ⅲ-1.1-16, スタックの平均電圧劣化率

	電圧劣化率
2005 年度スタック	0.65%/1000h (20000 時間経過時)
2008 年度スタック	0.38%/1000h (20000 時間経過時)
2009 年度スタック	0.25%/1000h (20000 時間経過時)
2010 年度スタック	0.16%/1000h (16000 時間経過時)
2011 年度スタック	劣化なし (3400 時間経過時)

2) スタック起動停止運転の信頼性

スタックを用いて熱サイクル耐性の確認を行った。試験条件は 750 °C、0.3 A/cm<sup>2</sup>、Uf 70% にて 1 時間発電後、OCV 状態にて降温を行い 100 °C 以下となった後に再び昇温を行い 750 °C になった時点で再度発電を行うというサイクルにて行った。結果を図Ⅲ-1.1-7 に示す。120 回の昇降温における劣化は 0.42 % (0.35 %/100 回) で有り良好な熱サイクル耐性を示した。

事業目標である 250 回の起動停止の耐久性が見通せる劣化率であった。

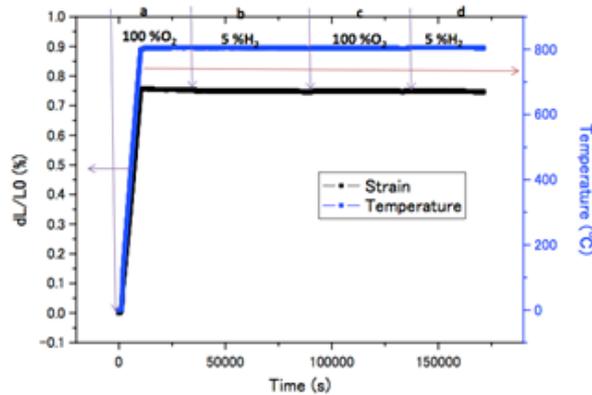


図Ⅲ-1.1-7、スタック熱サイクル特性

② レドックス耐性

1) 支持体の酸化還元挙動

支持体の酸化還元挙動として高温条件下における支持体の寸法変化をディラトメーターで、in-situ における組織変化を環境制御型走査電子顕微鏡 (ESEM) にて観察を行った (東北大学)。図Ⅲ-1.1-8 に寸法変化の結果を示す。寸法変化を測定すると酸化還元による寸法変化への影響は少なく、熱膨張による膨張変化が支配的であることがわかった。また、酸化還元による組織の変化を図Ⅲ-1.1-9 に示すが、酸化還元サイクルに対する支持体の微構造の大きな変化は観られなかった。以上のことより円筒中空平板に用いている支持体は酸化還元にて微細構造は変化するものの、その変化が小さく、マクロなサイズへの影響が小さいため、高い酸化還元耐性を有すると考

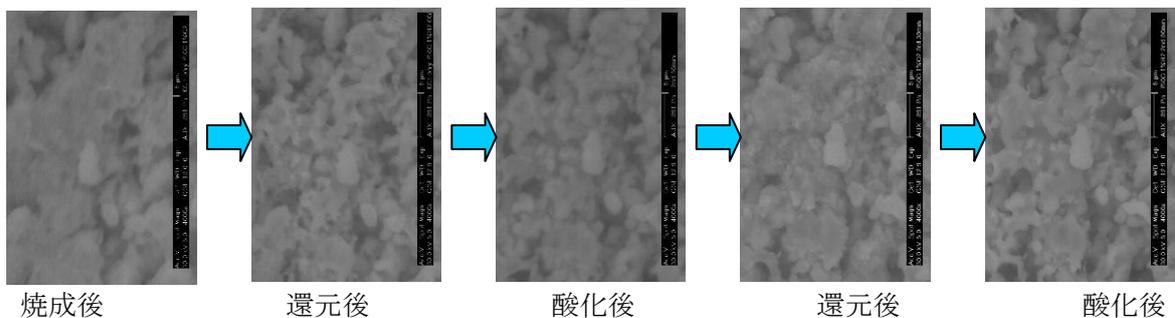


熱膨張による膨張変化が支配的 ( $\Delta 800\text{K}$ :約0.75%)

線膨張係数  $9.435 \times 10^{-6} (\text{K}^{-1})$

図Ⅲ-1.1-8. 酸化還元による寸法変化

えられる。

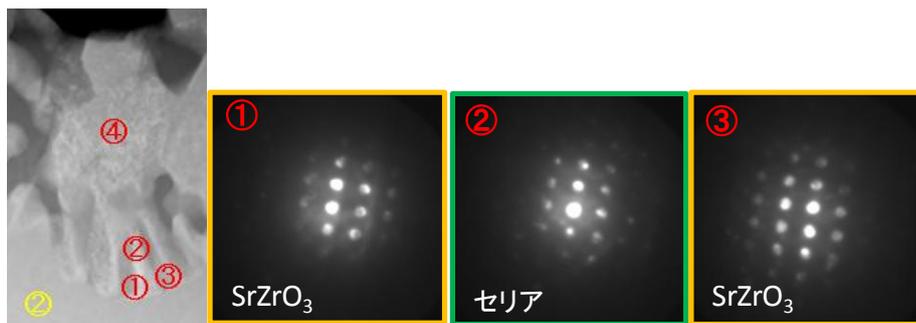


図Ⅲ-1.1-9. 酸化還元による組織変化

### ③ SrZrO<sub>3</sub> 生成の影響

#### 1). SrZrO<sub>3</sub> 生成

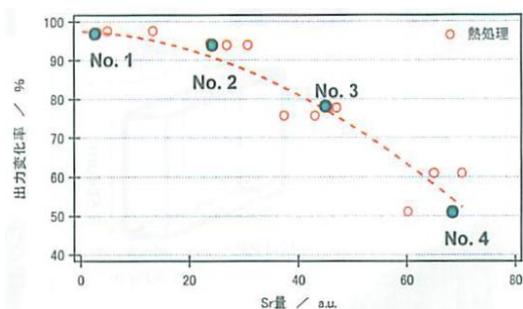
SrZrO<sub>3</sub> の生成を STEM 電子線回折により観察を行った（九州大学）結果を図Ⅲ-1.1-10 に示す。SrZrO<sub>3</sub> の結晶方位は隣り合うセリアに近似しており、SrZrO<sub>3</sub> はセリアの界面構造に起因しながら生成すると予想される。またセリア層の中に SrZrO<sub>3</sub> が生成しており Zr と Ce の相互拡散の影響が示唆される。



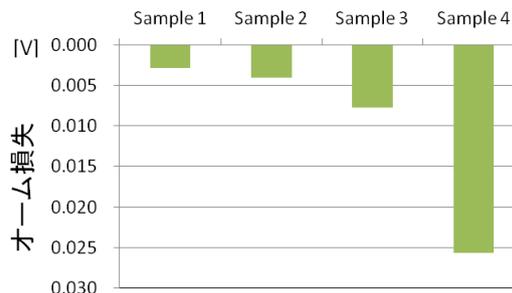
図Ⅲ-1.1-10. SrZrO<sub>3</sub> とその周辺部の電子回折像

#### 2). SrZrO<sub>3</sub> 生成と抵抗の関係

空気極より拡散して電解質との界面に生成する SrZrO<sub>3</sub> が導電性にどの程度寄与するのかを確認するために FIB-SEM による 3 次元構造モデルの構築を行い、格子ボルツマン法により実効抵抗計算を行った（京都大学、東京大学）。測定したサンプルは燃料電池セルを高温（1000 °C）にて熱処理を行い、Sr の拡散を促進させた試料を使用した。図Ⅲ-1.1-11 には熱処理を行った後に発電評価を行った際の実験出力劣化率（実験値）を図Ⅲ-1.1-12 にはイオン導電率から求めたオーム損失（計算値）を示している。オーム損失は実験値と同様の劣化傾向がみられることがわかった。しかしながら、純 GDC の導電率から算出したオーム損の絶対値は小さく、絶縁層によるオーム抵抗増大だけでは実験値の劣化を説明できない。GDC 中間層中の Ce への電解質成分 Zr の固溶によるイオン導電率の低下を計算に考慮していく必要がある。



図Ⅲ-1.1-11. 出力劣化率（実験値）

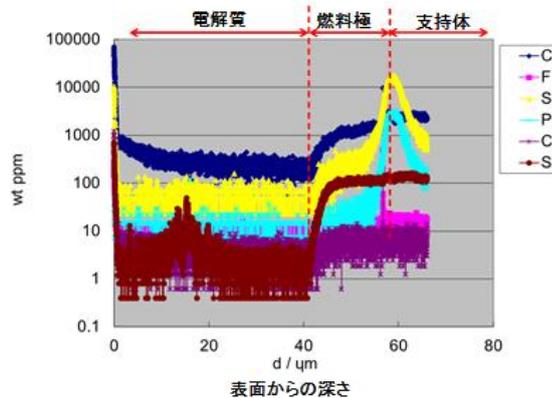


図Ⅲ-1.1-12. オーム損失（計算値）

### ④ 不純物の影響

#### 1). 不純物の分析

2008 年度実証機の不純物分析を SIMS にて詳細に分析した（産総研）。発電に寄与する空気極／中間層／電解質の界面、ならびに電解質／燃料極の界面いずれに対しても S や Cr の不純



図III-1.1-13 SIMSによる不純物測定結果

物は数 10 ppm 以下であり、劣化に大きな影響を与えるような不純物の濃集は見られなかった。燃料極と支持体の界面にて P と Si の濃集が観察されたが、初期段階からの存在が確認されており、劣化に大きな影響を与えていないと推察する。

2). 不純物の影響

実セル・実燃料下での不純物被毒劣化を計画している（九州大学）。50%改質模擬ガス（Uf 70%）+ 5 ppm H<sub>2</sub>S 被毒耐久試験を行ったが劣化が大きかった。5 ppm H<sub>2</sub>S は実環境としては過剰と考えられるため、1 ppm H<sub>2</sub>S にて再度評価を開始している。

⑤ 実績と今後の課題

基盤技術による集学的な取り組みにより、4 万時間耐久の見込めるスタックを開発することができた。今後の課題としてはスタック耐久劣化メカニズムをもとにして充分につかみ切れていない部位、例えば、初期段階における劣化の主要因等を明確にしていく必要がある。またスタックのモデルチェンジに対して短時間で長期耐久が見通せる評価技術が望まれる。

表III-1.1-17 筒状平板形の集学的検討課題成果と今後の課題

部位	項目	結果	課題
セル・スタック	耐久性	劣化主要因は内部抵抗増(電中研)	カソード劣化の可能性
	不純物	実証機分析→不純物は少ない(産総研)	外来不純物の影響
	シャットダウン	単セルにてエアフロー条件下では劣化有り(九大) スタックシャットダウンでは35回以上にて1%以下	スタック条件にて単セルシャットダウン
空気極	Srの拡散	SrZrO <sub>3</sub> 生成メカニズム(九大)	SrZrO <sub>3</sub> 生成メカニズム
		SrZrO <sub>3</sub> 導電機構(京大・東大)	SrZrO <sub>3</sub> 導電機構
電解質	相変態	抵抗成分への寄与(産総研)	Niの影響、温度の影響
燃料極	Niの凝集	耐久性に及ぼす影響小	
支持体	レドックス耐性	レドックス寸法変化小(東北大)	

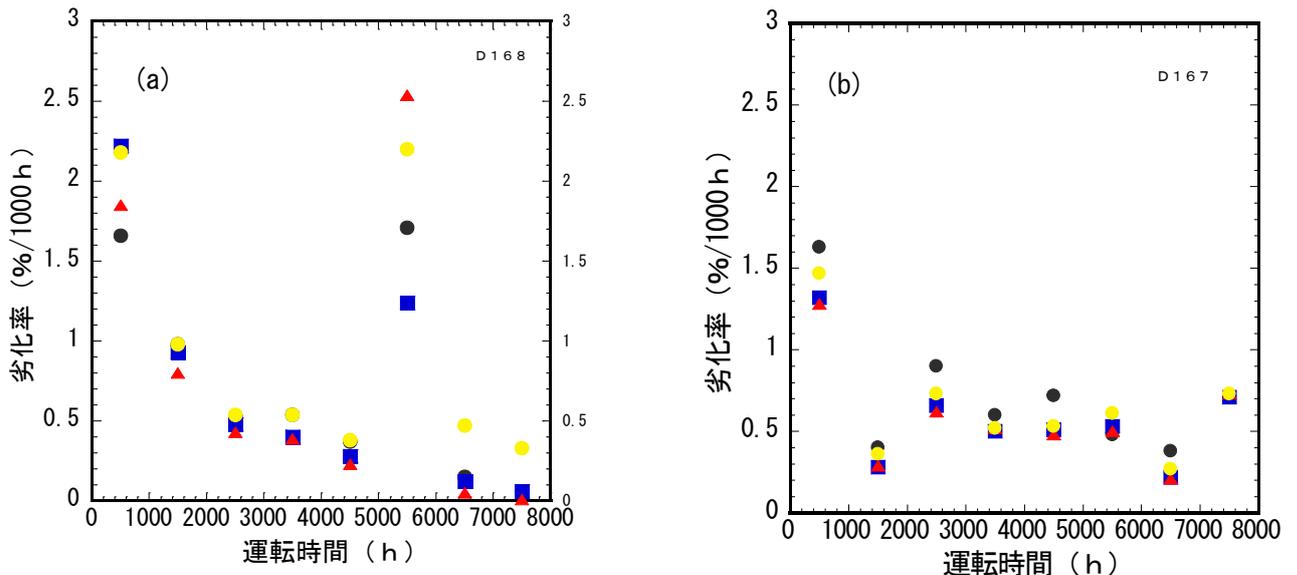
ii. 中温筒状横縞形耐久性の評価

①4万時間の耐久性と250回の起動停止の見通し

1) 連続運転特性

筒状横縞形は、絶縁支持基体上に一般的なSOFCセル材料で構成される単セルとセラミックインターコネクター(IC)とが高温焼成時に焼結体として一体的に積層化(スタック化)できるため、構造的に安定であるとともに、合金ICフリーという材料的メリットから、本質的に高い耐久性が期待できる。前期成果として、(1)スタックのガスリーク対策(支持基体/燃料極界面の接合強化、電解質/IC界面の接合強化)、(2)空気極のCr被毒対策(ハウジング(エア供給用囲い)のアルミナフォーミング合金への変更等)、(3)空気極-電解質界面の中間層(セリア系)の改良、の3つの対策を行うことにより低い劣化率を達成できる可能性が示された。

後期は前期成果をもとに8kh超の長期運転を実施し、劣化率及び劣化内訳(電中研)のデータから4万時間耐久性の見通しを行った。8khの運転を実施した同仕様の2機のショートバンドル(4スタックで構成)の劣化率の推移をそれぞれ図III-1.1-14(a),(b)に示す。(a)においては測定上の問題による一時的な劣化率上昇(5kh-6kh)を除いて、筒状横縞形の典型的な劣化挙動を有し、時間経過とともに劣化率が漸減した。劣化率の値としては、ショートバンドルを構成する4つのスタックの平均値で6kh-7kh、7kh-8khの時間範囲でそれぞれ0.2%/kh、0.11%/kh目標の0.25%/khよりも良好な値が得られた。さらに、(a)の4スタックのうち、良好な3スタックについては、6kh-7khの劣化率が0.05、0.12、0.15%/khであり、7kh-8khの劣化率が0.01、0.05、0.06%/khと極めて低い値を示した。このように(a)のショートバンドルにおいては4スタック平均及び良好3スタックともに0.25%/khの事業目標に対して十分低い劣化率が確認され、4万時間の耐久性が十分に見込めるものであった。一方で、(b)においては、同仕様にも関わらず異なる挙動を示した。時間経過による劣化率の減少が少なく、十分に低い劣化率が得られていない。これらの結果から、劣化率にはバラツキが存在することが分かる。これまでの集学的取り組みによって、このバラツキは製造時における空気極-電解質界面の反応防止層(セリア系)の均質性の不足、それに伴う運転時における絶縁性の界面反応生成物(SrZrO<sub>3</sub>)の生成量のバラツキが原因と示唆された。以上の結果から良好なスタックについて4万時間の耐久性が十分に見込めること、課題として製造条件の最適化によりバラツキの低減が必要であること、が明らかとなった。



図III-1.1-14 同仕様の2機のショートバンドル(各4スタックで構成)のスタックごとの劣化率の推移

## 2) 熱サイクル特性

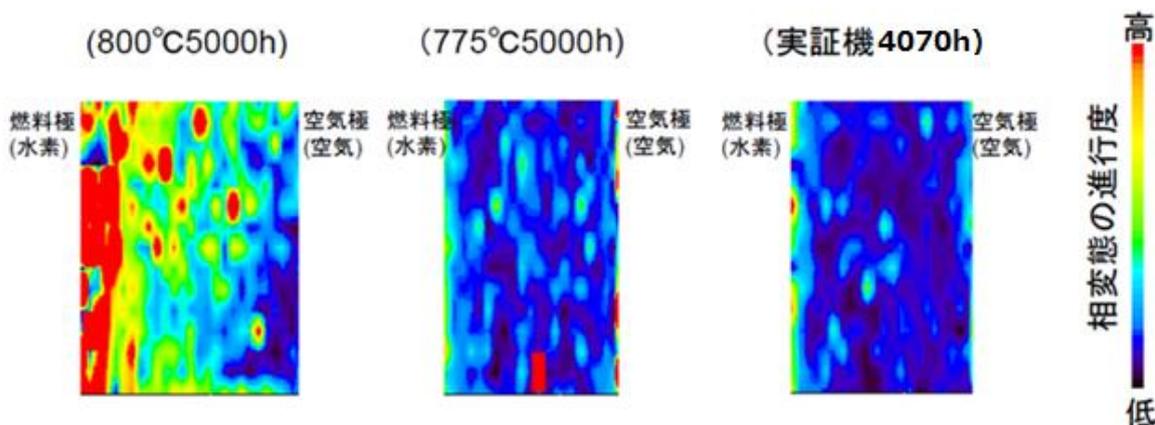
2000 時間運転後のショートバンドルを用いて熱サイクル試験を行ったところ、熱サイクルによる劣化率は 0.8%/100 回であり、良好な熱サイクル耐性を有していることが実験的に確認された。事業目標である 250 回の起動停止の耐久性が十分見通せる熱サイクル劣化率である。

## 3) シャットダウン耐性

システム運転においては通常の起動停止の他、緊急時にはシャットダウンが発生するため、スタックのシャットダウン耐性についても評価を行った。シャットダウン試験（九州大学）として、スタック発電中（750 °C、燃料利用率:80%、電流密度:0.24 Acm<sup>2</sup>）に燃料ガスと発電を停止して、同時に降温を行った（400 °Cまで1hで降温、400 °C30分保持）。その後、燃料ガスを再度供給しながら再昇温し（750 °Cまで1h、750 °Cで1h保持）、再発電（1h）を行った。この発電→燃料停止・発電停止→降温・保持→燃料供給・再昇温・保持→発電・・・というシャットダウンサイクルを 100 回繰り返した。スタック先端部（燃料下流部）のセルにおいては各サイクルで停止・降温時に開回路電圧が 0V にまで低下し、燃料極中の Ni が再酸化される状況が繰り返されたことが示唆され、過酷な条件での試験であったが、劣化率は 100 サイクル当り 2.1 % (= 0.021 % /cycle) であり、高いシャットダウン耐性が実験的にも示された。10 年間に緊急停止する想定回数（数十回レベル）を考慮すると、実用的に問題ないレベルと考えられる。

## ②電解質の劣化

YSZ 電解質は立方晶から正方晶への相変態をラマン分光により解析した（産総研）。結果を図Ⅲ-1.1-15 に示す。電気炉での 5000 時間運転後（800 °C、775 °C）と実証研究のフィールド機での 4070 時間運転後とを比較して示した。赤色系ほどが正方晶へ相変態したことを表しているが、運転温度の影響が大きく、800 °C では相変態の領域が広いことが分かった。定格温度である 775 °C での電気炉運転と実証研究機ではほぼ同等の結果が得られ、フィールド運転によって相変態が加速されることはなかった。また、電解質内部の酸素ポテンシャル分布を考慮した解析（産総研）により、電解質相変態によるスタック電圧の低下は 0.8 % 程度であり、劣化への影響は限定的であることが示された。



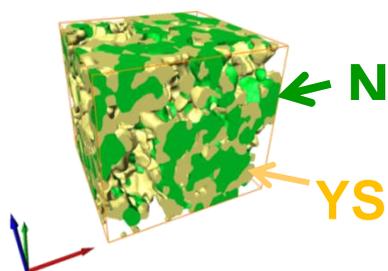
図Ⅲ-1.1-15 YSZ 電解質の相変態の比較

## ③燃料極の劣化

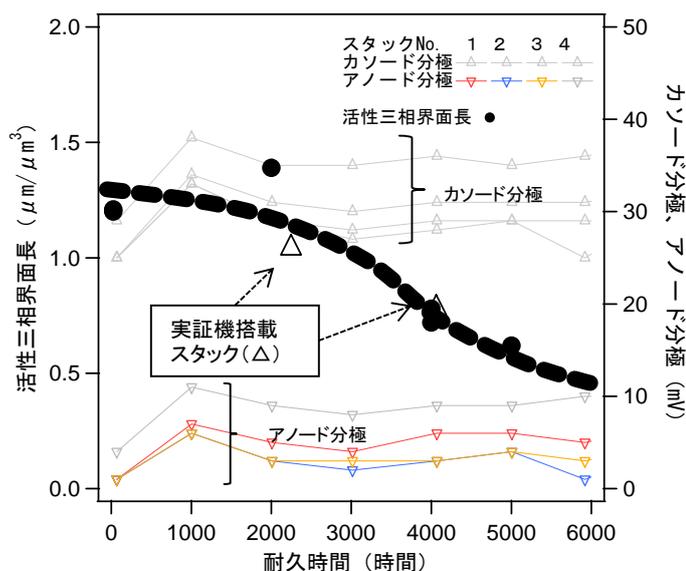
### 1) 微構造の経時的変化と劣化への影響

燃料極の微構造を FIB・SEM を用いて数値化し、3 次元構造モデルとして再構築した（京都大学、東京大学）（図Ⅲ-1.1-16）。得られた 3 次元構造から算出された燃料極三相界面長と、電

中研において測定された同仕様スタックの電極の分極過電圧を運転時間の関数として図Ⅲ-1.1-17に示す。燃料極三相界面長は経時的に減少し4000~5000時間程度で飽和する傾向が見られた。一方、燃料極の分極過電圧には大きな変化が見られず、三相界面長の減少が燃料極の劣化に必ずしも大きく影響していないことが分かった。燃料極の分極過電圧が10 mV以下の小さな値のまま安定に推移していること、及び三相界面長の変化が飽和傾向にあることから、燃料極の微構造変化がスタック劣化へ与える影響は限定的であると考えている。より詳細には三相界面長の変化が劣化に与える影響の定量化が必要であり、現在3次元構造を用いて、定量化モデルを構築中である（京都大学、東京大学）。



図Ⅲ-1.1-16 再構築した燃料極3次元構造例

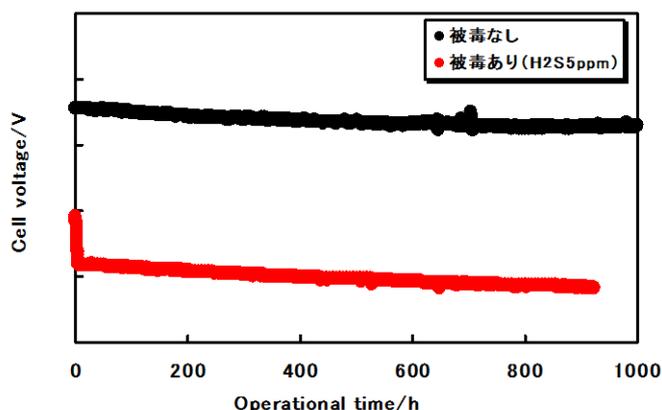


図Ⅲ-1.1-17 燃料極三相界面長と電極の分極

## 2) 不純物による劣化への影響

不純物による被毒が燃料極の劣化に与える影響については九州大学で詳細に検討が進んでいるため、その知見を活用するにあたり、筒状横縞形構造に特有な被毒効果の有無を調べることを目的として評価を行った（九州大学）。定格温度775℃において燃料中のH<sub>2</sub>S(5 ppm)による被毒の試験結果を被毒なしと比較して図Ⅲ-1.1-18に示す。この硫黄被毒の劣化挙動は、標準的なボタンセルの場合と同等であり、筒状横縞形構造に特有な劣化は観測されなかった。試験後の燃料極について、STEMによるポスト解析（九州大学）を行ったところ標準セルと同様に燃料極の化学的変化は非常に小さく、筒状横縞形構造に起因する特有な劣化は化学的変化にも見られなかった。

また、様々な不純物が運転時に経時的に蓄積してしまう可能性について、運転後の燃料極のSIMS分析で詳細に評価した（産総研）。その結果、運転時間とともに増加する不純物は存在せず、また図Ⅲ-1.1-17に示した通り燃料極の分極の劣化もほとんど観測されないことから、



図Ⅲ-1.1-18 筒状横縞スタックの硫黄被毒挙動

評価条件において不純物が燃料極の劣化へ与える影響は限定的であることが示された。

#### ④ 空気極の劣化

##### 1) 微構造変化と劣化への影響 (SrZrO<sub>3</sub> 生成の影響)

FIB-SEM による空気極 3 次元構造モデルの構築 (京都大学、東京大学)、及び界面の SEM-EDX 分析 (産総研) の結果、空気極-電解質界面近傍に絶縁性の反応生成物 (SrZrO<sub>3</sub>) が生成していることが確認された。SrZrO<sub>3</sub> の生成量はバラツキが大きく、前述した通り、そのバラツキは CeO<sub>2</sub> 系中間層の製造プロセスにおける膜厚等の均質性不足に起因すると考えている。また、図 III-1.1-17 にプロットした通り、電中研で行った試験結果から空気極の分極は経時的に増加する傾向にはなく、ほぼ一定値で推移しており、分極については長期的な安定性が見込まれている。一方で、同じく電中研の解析により、筒状横縞形スタックの劣化の主要因はオーミック抵抗の増加によることが示されており、空気極-電解質界面の SrZrO<sub>3</sub> 生成はその重要な要因であると考えられる。SrZrO<sub>3</sub> の生成についてはプロジェクトの共通課題として、生成メカニズムの解明と劣化への影響の解析に集学的な取り組みが行われている。

##### 2) 不純物の影響

各種不純物について、運転後の空気極への蓄積を SIMS で詳細に分析したところ (産総研)、空気供給系の Cr 飛散対策等を行えば運転時間とともに増加する不純物は存在せず、また図 III-1.1-17 に示した通り空気極の分極の劣化もほとんど観測されないことから、評価条件において不純物が空気極の劣化へ与える影響は限定的であると考えている。

#### ⑤ 機械的信頼性

前述したとおり筒状横縞形スタックの構造を支える支持基体は本質的に高い安定性が期待できるものであり、レドックスやシャットダウンに対して化学的に安定であることが実験的に確かめられた。そこで化学的のみならず機械的にも安定であることを確認するために、長期運転 (還元雰囲気) やレドックス条件下での機械的安定性を、スモールパンチ法を用いて評価した (東北大学)。図 III-1.1-19 に示すように、それぞれの条件下で支持基体の破壊強度に変化が見られず、機械的にも安定であることを裏付ける結果が得られている。さらに機械的信頼性については電解質のピンホールが周囲に与える影響についても調査しており (東北大学)、その結果から製造時のピンホール管理指針が得られる予定である。

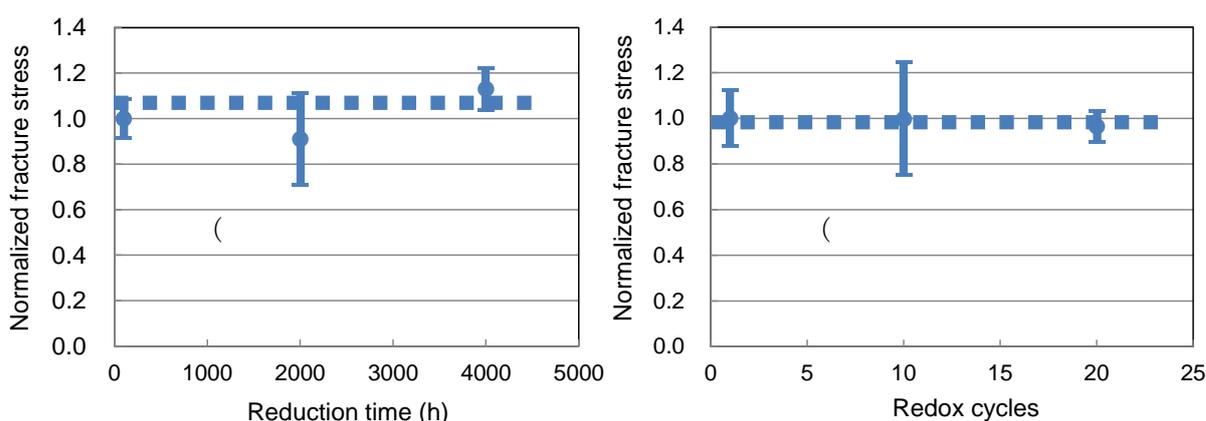


図 III-1.1-19 筒状横縞スタック支持基体の機械的特性変化  
(a) 800 °C還元、(b)レドックスサイクル

⑥ まとめと課題

表Ⅲ-1.1-18に筒状横縞形の4万時間耐久見込みに関する集学的取り組みとその結果を示す。

表Ⅲ-1.1-18 筒状横縞形の4万時間耐久見込みに関する集学的取り組みと結果

・改良スタックに対して、より迅速な10年耐久見通し手法 ⇒ 本格普及に向けた開発加速

	目標	課題	連携(基盤)	結果	耐久見込み
スタック全体	8kh超の運転で0.25%/kh以下	長期運転、劣化内訳	電中研	・スタックによるパラッキ有 ・良好なスタックは4万時間耐久レベル	4万h耐久見込み
		長期運転、不純物蓄積	産総研		
空気極	4万時間の安定性見通し	分極の長期変化	電中研	10khまで安定	4万h耐久見込み
		SrZrO <sub>3</sub> 生成の影響(共通課題)	産総研/京大・東大/九大	共通課題として解明中	
燃料極	4万時間の安定性見通し	分極の長期変化	電中研	10khまで安定	4万h耐久見込み
		微構造の変化	京大・東大	5kh飽和傾向	
		横縞形特有の被毒劣化の有無	九大	確認済み	
		シャットダウンによる劣化	九大/京大・東大	高いSD耐性確認	
電解質	4万時間の安定性見通し	相変態の影響	産総研	影響軽微	4万h耐久見込み
		ピンホールの許容値(製造プロセス指針)	東北大	評価手法開発	
支持基板	4万時間の安定性見通し	機械的信頼性	東北大	強度安定	4万h耐久見込み

### iii. 中温小型円筒形耐久性の評価

平成 22 年度の「実証研究」で運転評価を行った小型円筒形セルスタックと初期品について、産業技術総合研究所、九州大学、京都大学と連携して SIMS による 3 相界面近傍への不純物析出状況、構成材料の拡散状況、STEM-EDX 分析を用いて微構造とセル構成材料の主成分、微量成分の分布状態、FIB-SEM を用いた電極構造の変化、3 相界面の定量的測定を実施した。得られた微構造データを用いて微構造変化が電極過電圧に及ぼす影響を東京大学においてシミュレーションを用いて解析した。電力中央研究所と連携して運転評価後のセルと初期品について、抵抗成分の分離測定を実施する。東北大学と連携して、運転環境下におけるセル構成材料の機械的特性を測定し、これを用いてセル内に発生する応力解析を実施し、セル信頼性に関する考察を行うとともに、必要に応じて対策を改良セルに反映させた。対策改良品について同様の分析を実施し、効果の確認、推定した劣化メカニズムの妥当性の検証した。

具体的な評価結果を以下に示す。小型円筒形セルの材料構成について表 III-1.1-19 に示す。ランタンガレート系薄膜電解質を採用し、600~700 °C の低温運転でも高い発電性能が得られる特徴がある。「実証研究」に搭載した仕様の単セル耐久性を評価した結果、電位低下率は約 0.6 % / 1000 h (0~10,000 h) であり、目標 (0.25 %以下/1000 h) 達成に向けて更なる改善が必要であった。

表 III-1.1-19 小型円筒形セルの材料構成

構成	材料
第一燃料極	Ni/YSZ
第二燃料極	Ni/GDC
中間層/電解質	セリア系/LSGM
空気極	LSCF

劣化要因を推定することを目的に、「実証研究」で運転評価を実施した後のモジュールからセルを抜き取り、単セル評価装置にて抵抗分離を実施した結果を図 III-1.1-20 に示す。運転時間とともにカソード過電圧が大きくなっていることが確認され、劣化の主要因と推定された。なおその他の抵抗成分については変化が見られなかった。次に、実証研究で運転評価したセルについて、SIMS による不純物の分析結果を図 III-1.1-21 に示す。H21 (2009) 年度の実証機においては、電解質と空気極の界面に初期セルには見られなかった Cr と B の濃集が確認され、劣化の主要因と推察された。H22 (2010) 年度の実証機においては、B に関しては混入源であるガラスシールについて対策を実施した結果、1 桁低減する事ができた。一方、Cr については依然として高い濃度で濃集が確認された。H23 (2011) 年度の実証機で、Cr 対策を実施した結果、Cr の濃集は見られるものの、1 桁低減していることを確認した。H24 (2012) 年度の仕様では、Cr 濃集を抑制するべく、更なる対策を実施する。

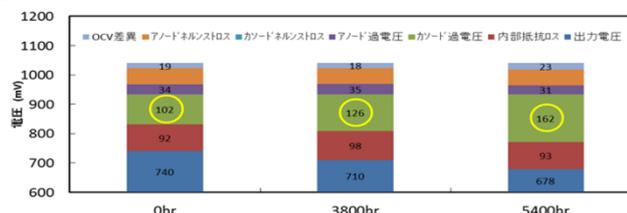


図 III-1.1-20. 抵抗分離結果 (H22 (2010) 年度実証機からセル抜き取り評価)

金属部材からの Cr 蒸発について改良検討を実施したショートスタック (セル 16 本組品)) の耐久評価結果を図 III-1.1-22 に示す。H23 (2011) 年度仕様セルにおいては、1700 h 程度までの劣化はほぼゼロに改善されており、インピーダンス測定の結果よりその要因として、活性化過電圧の増大が抑制されていることを確認した。H24 (2012) 年度においては、金属部材のさらなる Cr 蒸発対策などを実施し、短時間ながら、良好な耐久性性能を確認できている。今後、3000 h 程度以上の評価試験を継続し、目標である電位低下率 0.25 %/1000 h 以下を実証する。

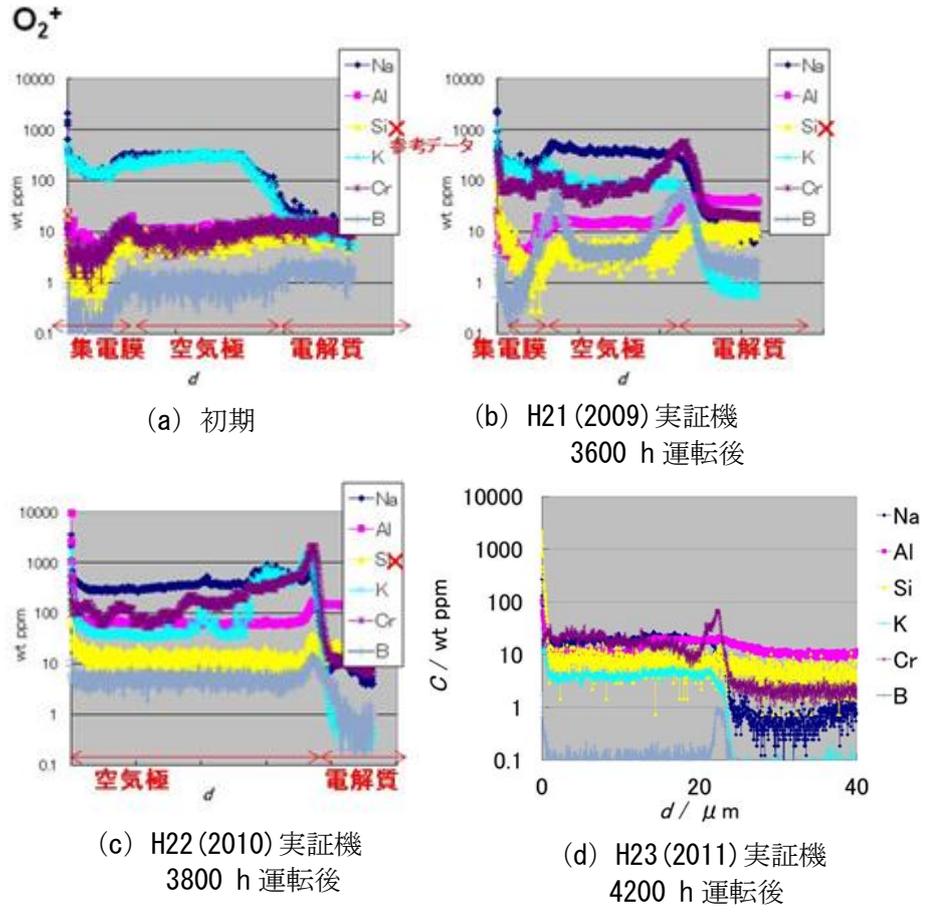


図 III-1.1-21. 耐久セルの不純物濃度測定結果

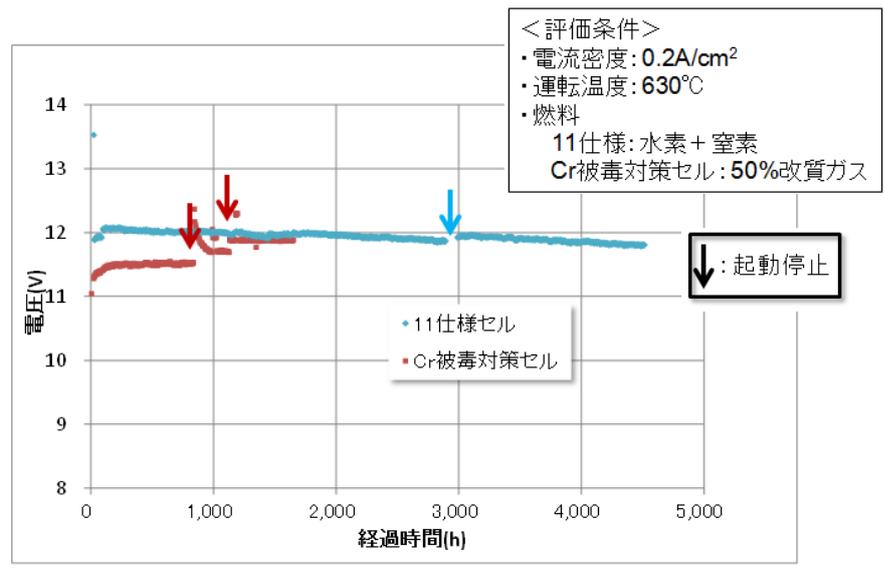
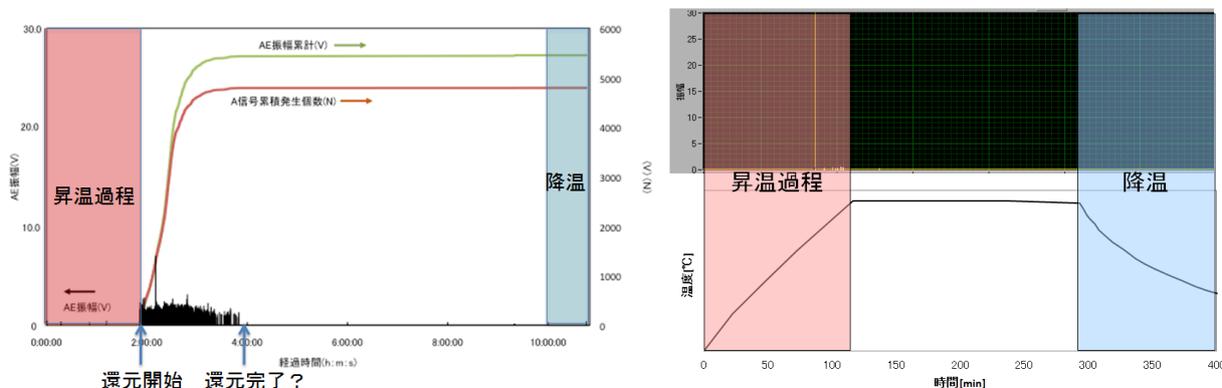


図 III-1.1-22 改良品のショートスタック耐久結果

起動停止時の信頼性の観点では、温度の昇降温、酸化還元時の材料の膨張収縮に伴う微小な膜剥離は性能低下、セル破損は突然死の要因となることが懸念される。そこで、セル構成材料の化学組成分布、残留応力分布について断面 *Ex situ* 観察を行った。その結果、製造条件の違いによって上記に相違があることを見出し、現行セルの製造条件についてその妥当性を判断することができた。今後応力分布シミュレーションも合わせセル破損の限界運転条件を把握しモジュール運転条件やセル設計へ反映する予定である。

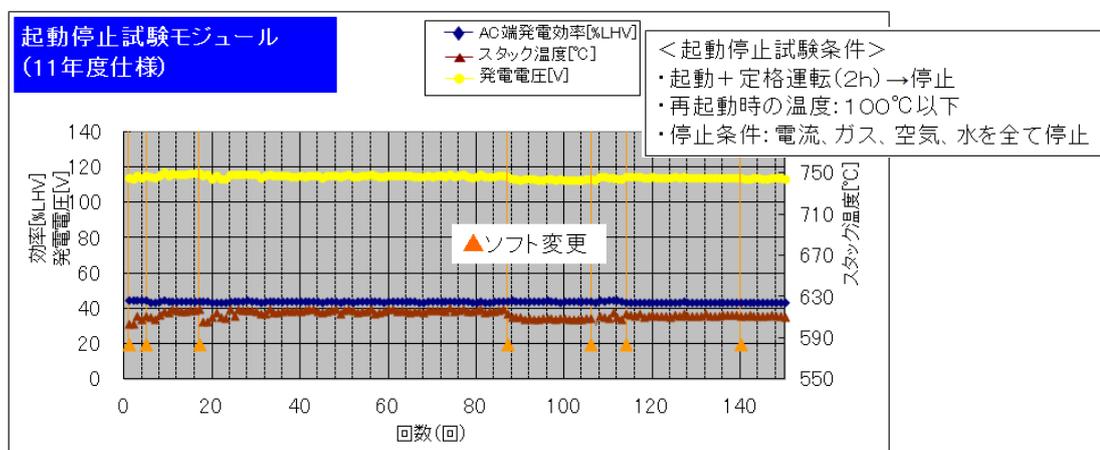
次にアコースティックエミッション法 (AE 法) を使用して、セルの初期還元時、及び、再酸化時の AE 信号を測定した結果を図Ⅲ-1.1-23、Ⅲ-1.1-24 に示す。いずれにおいてもセルの損傷や膜剥がれにつながるクラックの進展と理解できる AE 信号が検知されることは無く、セルの健全性を確認することができた。AE 法はセルの信頼性を評価する上で極めて有効な評価技術であり、今回の研究開発において、その手法検討に着手できた意義は非常に大きい。今後、技術レベルをさらに高度化させることにより、低コスト化、高効率化などのセル設計変更時にその妥当性を判断するために活用する予定である。



図Ⅲ-1.1-23 セル初期還元時のアコースティックエミッション信号

図Ⅲ-1.1-24 セル再酸化模擬試験のアコースティックエミッション信号

モジュールの起動停止試験結果を図Ⅲ-1.1-25 に示す。弊社のモジュールの停止条件は、高温での発電状態から、電流、燃料、水、空気を一斉に停止するシャットダウン停止を想定している。図Ⅲ-1.1-35 は「起動→運転→シャットダウン」のサイクルを繰り返した際の発電性能の推移を評価した結果であるが、シャットダウン回数 150 回において電圧の低下は見られず、目標である 120 回の起動停止にほぼ目処がついたと判断して

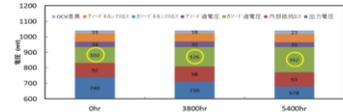
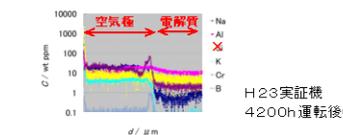
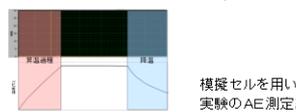


図Ⅲ-1.1-25 モジュールデノシャットダウン評価結果

いる。今後は起動停止試験を更に継続するとともに、試験終了後のセルについて分析を行う予定である。

表Ⅲ-1.1-20 に本研究開発における各研究機関との連携状況を示す。連携の結果、カソードの活性化過電圧の増大が主たる抵抗増大成分であり、Cr析出がその要因であることを特定することができた。これに対する対策の結果、劣化率は短時間ながら目標とする0.25%/1000hを実証し、耐久性を大幅に向上することに成功した。起動停止においても、シャットダウンという過酷な条件下であるに関わらず、150回まで劣化ゼロであることを確認し、目標を達成した。セル構成材料の基礎物性の取得、これを用いたセルの応力解析結果を得ており、信頼性を向上するべく、スタックデザインや運転方法へ展開した。H24年度中に長時間運転での実証、量産技術の確立を推進する。次年度以後の積み残し課題は、低コスト化、高効率化、及び、この開発を短期間で実現するための耐久性の迅速評価技術の確立が必須であり、これらを推進する予定である。

表Ⅲ-1.1-20 各研究機関との連携状況

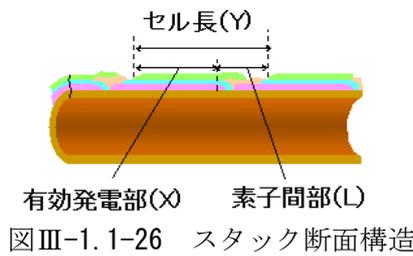
スタック全体	目標	課題	連携(基盤)	結果まとめ	成果
スタック全体	4万時間連続運転、120回起動停止の見通しを得る	長期運転劣化内訳	電中研	<ul style="list-style-type: none"> <li>劣化要因切分け</li> </ul>  <p>抵抗分離結果 (H22年度実証機からセル抜き取り評価)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>セル改良へ反映し、H23年度仕様で劣化率0.3%/1000h H24年度仕様はさらに改善見込み</li> </ul>
		長期運転不純物蓄積	産総研	<ul style="list-style-type: none"> <li>SIMSによるFT運転後の不純物量評価</li> </ul>  <p>H23実証機 4200h運転後の不純物</p>	
		機械的物性の変化	東北大	<ul style="list-style-type: none"> <li>基礎物性データの取得(熱分析、ラマン等)</li> <li>アコースティックエミッション(AE)によりセル健全性を確認</li> </ul>  <p>模擬セルを用いた再酸化実験のAE測定結果</p>	
空気極	4万時間の安定性見通し	分極の長期変化	電中研	<ul style="list-style-type: none"> <li>分極の長期変化を解析(上述の通り)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>セル改良へ反映し、H23年度仕様で劣化率0.3%/1000h H24年度仕様はさらに改善見込み</li> </ul>
		Cr被毒	産総研 九大	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cr被毒と劣化の関係調査</li> <li>メカニズムの把握</li> </ul>	
		Ag析出	京大 東大	<ul style="list-style-type: none"> <li>FIB-SEMによる微構造観察、シミュレーションによる影響調査</li> <li>1年耐久レベルでは影響ないことを確認</li> </ul>  <p>FIB-SEM再構築画像からシミュレーションしたAg析出前後の空気極過電圧</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>影響ないことを確認できた</li> </ul>
		微構造変化	九大	<ul style="list-style-type: none"> <li>H22年度長期運転後セルの分析実施</li> <li>H23年度仕様への対策効果を確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>H22年度セルの分析結果より対策実施し、効果を確認できた</li> </ul>
燃料極	4万時間の安定性見通し	微構造変化	京大 九大	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期運転後、起動停止繰り返し試験後の微構造分析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>劣化に影響ないことを確認できた</li> </ul>
電解質	4万時間の安定性見通し	(課題なし)			

iv. 高温円筒横縞形耐久性の評価

① 高温円筒横縞形スタック仕様と試験装置

高温円筒横縞形スタック仕様を表Ⅲ-1.1-21、断面構造を図Ⅲ-1.1-26に示す。セルスタックは基体管にカルシウム安定化ジルコニア (CSZ)、電解質にイットリウム安定化ジルコニア (YSZ)、空気極に (La, Sr, Ca)MnO<sub>3</sub> (LSCM)、インタコネクタに (Sr, La)TiO<sub>3</sub> (SLT) を適用した。空気極中間層は Type1 および 2 で (La, Sr)MnO<sub>3</sub> (LSM)-YSZ を使用した後、Type 3 以後は耐久性向上を目的に (Sm, Ce)O<sub>2</sub> (SDC) を適用した。Type 6 の基本仕様は Type 5 と同一であるが直列セル数を 85 とした。セルスタック寸法は全長 1500 mm×外径 28 mm である。

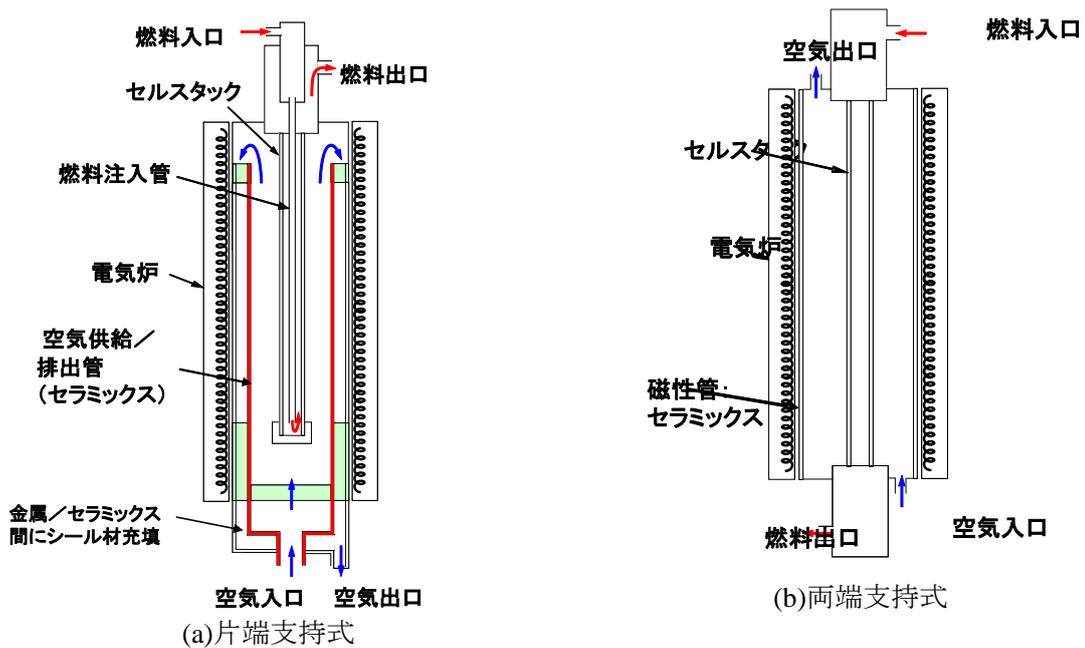
セルスタックの試験装置を図Ⅲ-1.1-27に示す。(a)片端支持は評価温度がセルスタック全体でほぼ均一となる試験に適用した。(b)両端支持はモジュールを模擬した構造であるが、モジュール状態を反映した試験(温度分布)に適用した。



図Ⅲ-1.1-26 スタック断面構造

表Ⅲ-1.1-21 高温円筒横縞形スタック仕様

	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6
燃料極 導電層	NiO-YSZ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			NiO-YSZ	NiO-YSZ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
空気極 中間層	(LaSr)MnO <sub>3</sub> -YSZ	(CeSm)O <sub>2</sub>				
X/L	2	1				
直列 セル数	34	48			85	
備考	前信頼性	構造変更	空気極中間層の 影響を評価	燃料極組成の 影響を評価	・電解質ラップ部 IC密度向上 ・電解質薄膜化	250kWSOFC- MGTC用



図Ⅲ-1.1-27 セルスタック試験装置

## ② 耐久性試験結果

これまでの知見からCr被毒対策として空気の供給／排出管を金属からセラミックス製チューブに変更することが有効であることが明らかになっている。本研究ではType 6セルスタックについてCr被毒対策を施した装置を用い、900℃均一試験と運転温度影響を評価するための温度分布付き試験を行った。

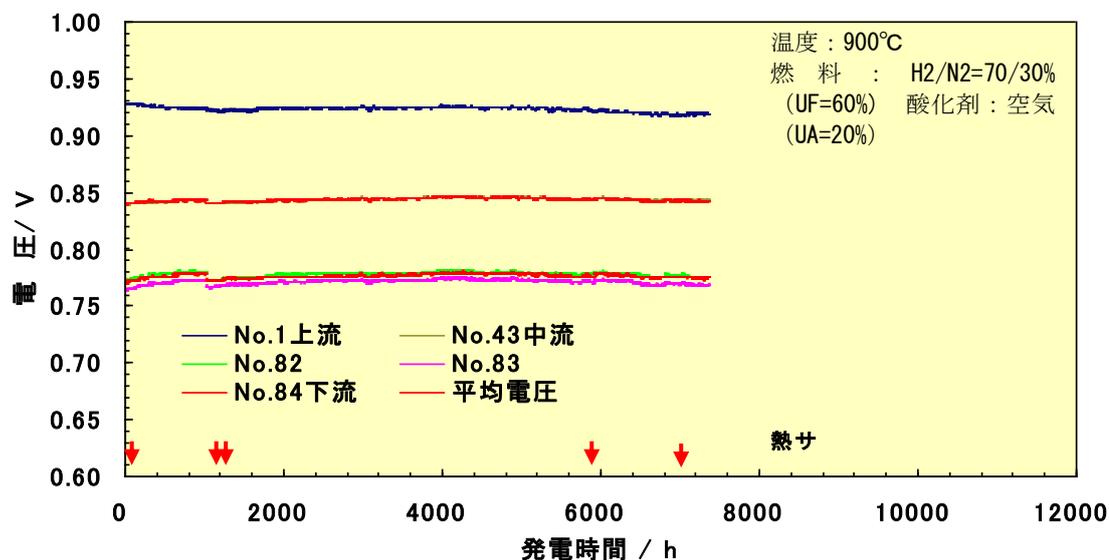
### 1) 900℃均一試験

セルスタックの1000時間毎の劣化率を表Ⅲ-1.1-22に、性能推移を図Ⅲ-1.1-28に示す。

4000時間経過時点では劣化は観察されなかったが、4000h以後は若干の電圧低下を示すものの全体の劣化率は-0.01%/1000hで概ね安定であった。試験後セルスタックは微量成分(産総研)、化学的変化(九大)、三相界面近傍観察(京大)を各機関と連携して実施した。

表Ⅲ-1.1-22 900℃均一試験劣化率

劣化率(%/1000h)						
	No.1上流	No.43中流	No.82	No.83	No.84下流	平均電圧
12.2-1000.0h	0.51	-0.41	-0.88	-1.01	-0.94	-0.35
1000.0-2000.6h	-0.07	-0.12	-0.27	-0.23	-0.15	-0.17
2000.6-3000.6h	-0.16	-0.31	-0.27	-0.26	-0.27	-0.25
3950.3-4000.3h	-0.16	-0.25	-0.36	-0.34	-0.38	-0.26
4000.3-5000.5h	0.19	0.10	0.21	0.17	0.13	0.14
5000.5-6000.4h	0.16	0.01	-0.01	-0.01	-0.05	0.04
6000.4-7000.4h	0.42	0.26	0.35	0.39	0.35	0.27
12.2-7000.4h	0.14	-0.06	-0.07	-0.09	-0.09	-0.04



図Ⅲ-1.1-28 900℃均一試験性能推移

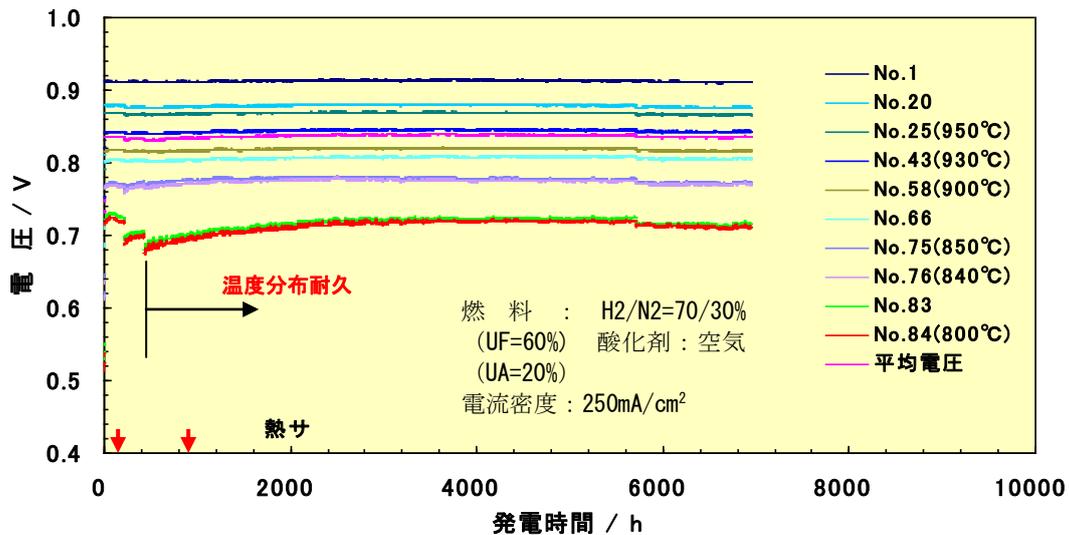
### 2) 運転温度の影響

セルスタックの1000時間毎の劣化率を表Ⅲ-1.1-23に、性能推移を図Ⅲ-1.1-29に示す。

全体劣化率は-0.06%(210.8-6939.5h)であるが低温部の劣化が大きいことがわかった。試験後セルスタックは微量成分(産総研)、化学的変化(九大)、三相界面近傍観察(京大)を各機関と連携して実施した。

表Ⅲ-1.1-23 温度分布試験劣化率

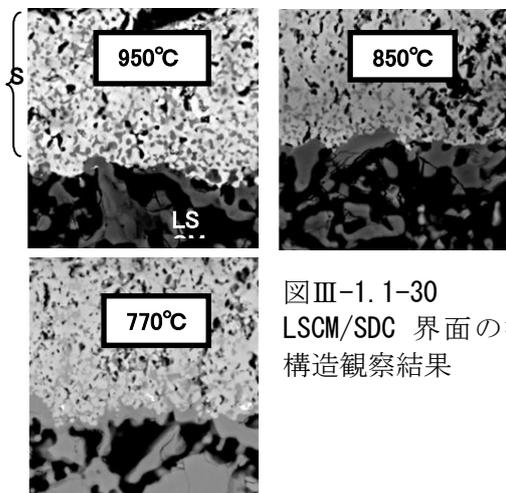
劣化率 (%/1000h)	No.1 (燃料入口空気出口)	No.20	No.25 (950°C)	No.43 (930°C)	No.58 (900°C)	No.66	No.75 (850°C)	No.76 (840°C)	No.83	No.84(800°C, 燃料出口空気入口)	平均電圧
210.8-1000.2h	0.13	-0.17	-0.12	-0.16	-0.09	-0.12	-1.39	-1.69	-0.43	-0.62	-0.28
1000.2-2000.2h	-0.16	-0.18	-0.18	-0.26	-0.26	-0.28	-0.32	-0.46	-1.85	-1.97	-0.35
2000.2-3000.8h	-0.05	-0.07	-0.05	-0.04	-0.07	-0.02	0.05	0.02	-0.78	-0.85	-0.09
3000.6-4000.4h	-0.01	0.11	0.13	0.08	0.14	0.12	0.30	0.23	-0.18	-0.25	0.08
4050.4-5000.2h	0.13	0.06	0.05	0.04	0.10	-0.04	0.06	0.02	-0.08	0.01	0.06
5000.2-6000.7h	0.24	0.25	0.29	0.26	0.34	0.31	0.63	0.64	1.11	0.86	0.33
6000.7-6939.5h	0.03	0.00	0.01	-0.05	-0.03	-0.12	-0.12	-0.12	-0.06	0.19	-0.04
210.8h-6939.5h	0.00	-0.01	0.00	-0.04	-0.02	-0.06	-0.11	-0.18	-0.35	-0.41	-0.06



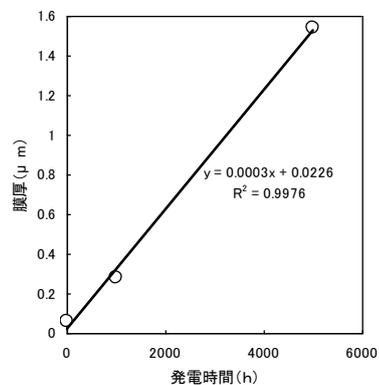
図Ⅲ-1.1-29 温度分布試験性能推移

③ 4万時間（電圧低下率 0.25 % / 1000 h）への見通し

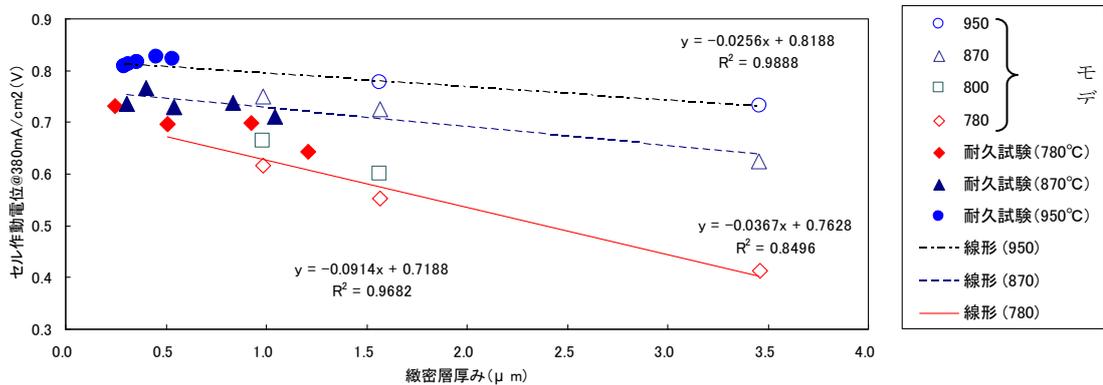
Type 3 の 5000 h 後の微構造観察結果（図Ⅲ-1.1-30）より運転温度が低いほど LSCM/SDC 界面に形成する緻密層が厚くなるのが判り、電気化学解析の結果から低温部のカソード過電圧が増加する傾向を示した。これらの結果から LSCM/SDC 界面に生成する緻密層が耐久性に影響



図Ⅲ-1.1-30 LSCM/SDC 界面の微構造観察結果

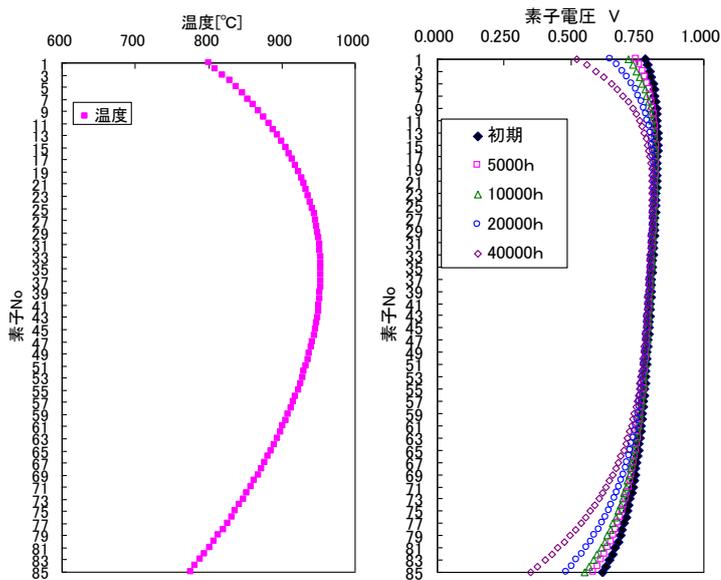


図Ⅲ-1.1-31 運転時間と生成緻密層厚さ (800 °C)



図Ⅲ-1.1-32 温度による生成緻密層厚さとセル作動電位の関係

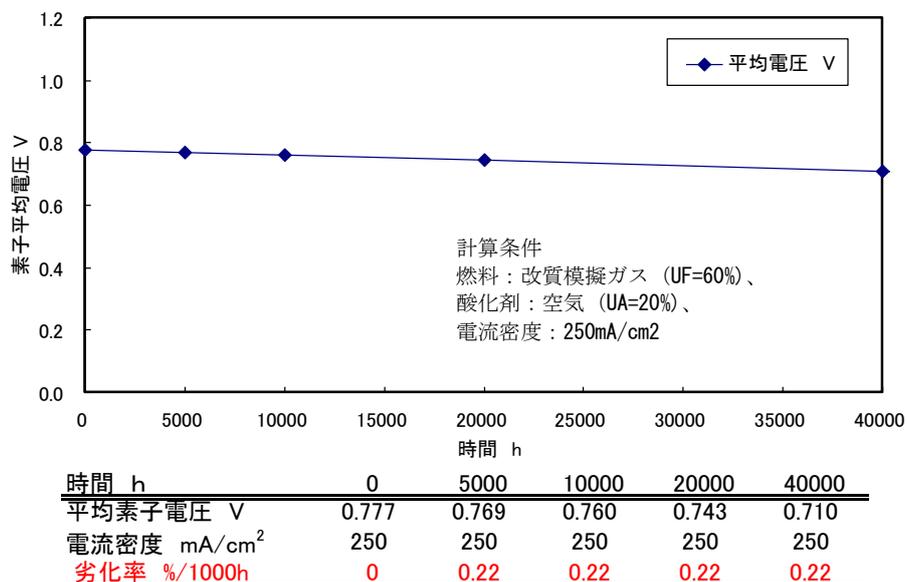
響することが考えられた。そこで緻密層厚みを成長させたモデル材を作製評価した結果、運転時間と生成緻密層厚さに良好な相関が見られ（図Ⅲ-1.1-31）、緻密層厚さとセル作動電位に良好な相関を得た（図Ⅲ-1.1-32）。これら要素検討結果より温度、運転時間から緻密層厚さを予測推定し、緻密層厚さと作動電位の関係から劣化速度式を算出して1万時間以上の耐久性について外挿予測を行った。



図Ⅲ-1.1-33 計算に用いた温度分布

図Ⅲ-1.1-34 4万時間までの耐久性予測結果

外挿計算時に用いたセル毎の温度分布傾向を図Ⅲ-1.1-33に示す。劣化速度式を用いたセル毎の性能予測結果および平均電圧の経時変化をそれぞれ図Ⅲ-1.1-34、図Ⅲ-1.1-35に示す。実際の耐久性試験と同様、低温部セルの劣化傾向が示されたが、高温部セルの劣化はほとんど見られずセルスタック全体としての4万時間までの劣化率は0.25%/1000h以内となると推定された。



図Ⅲ-1.1-35 セルスタック全体における耐久性予測結果

④ まとめ

高温円筒横縞形セルスタックの劣化要因は空気極／中間層 (SDC) 界面に生成する緻密層であると考えられ、4万時間までの劣化率は0.25%/1000h以内となると推定された。

低温部の劣化を改善することで更なる耐久性向上が見込まれる。

## (b) 劣化機構の解明、加速試験方法の確立（後期）

後期における基盤側の役割は、各スタックの個別課題を直接行うことともに、劣化機構解明に必要な課題も同時に行ってきた。以下では両者について成果を述べる。

### i. 熱力学的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立

平成 23 年度～24 年度においては、前期（平成 22 年度）まで残された技術課題を抽出し、各スタックメーカーの要望に応じた劣化要因分析・劣化機構解析を行った。表Ⅲ-1.1-24 に示すように、4 つのスタック形に対して、不純物分析、被毒・劣化解析などを行い、セル・スタック開発にフィードバックし劣化率の改善に貢献した。

#### ① 筒状平板形スタックの高耐久化

実証試験に供されたスタックの不純物分析を進めた。異なる 2 サイト（大阪と北海道）で約 6500 時間運転したシステムからスタックを取り出し、電極及び界面活性部での不純物分析を行った。空気極/中間層/電解質界面では、主成分として Sr の電解質中への拡散と絶縁性 SrZrO<sub>3</sub> の生成が課題であるが、本セルでは顕著な SrZrO<sub>3</sub> の生成は確認されなかった。Sr の拡散係数を導出するために種々の拡散対実験を行い、SrZrO<sub>3</sub> 生成挙動を整理するためにセリア中の拡散挙動を考察した。また、注目不純物のなかで濃集傾向のあるものはみられなかった。特に Cr 被毒が懸念されるので、空気極・電解質界面を注意深く測定した結果、空気極中での Cr 濃度レベルは 10 ppm 程度の濃度であり、Cr が多少揮発していても有効にトラップされ劣化に影響を及ぼす界面近傍には達していないと考えられる。

#### ② 筒状横縞形スタックの高耐久化

実証研究に供されたスタックの不純物分析などを進めた。空気極における Cr 蓄積箇所とその濃度を評価し、Cr 被毒は生じていないと判断した。セル・スタックでは、下部の空気極の変色部より、Cr、S などの不純物が数 100 ppm 以上観測された。これをうけてセル・スタックの被毒対策が進み、耐久性が向上した。ZrO<sub>2</sub> 系電解質の相変態については、燃料極側で高温ほど顕著にみられることを観測し、単セル試験の詳細な分析より相変態による伝導度劣化への影響を系統的に評価し推算できるようにした。

#### ③ 小型円筒形スタックの高耐久化

本スタックは H23 年度から新規に参加したスタックであるため、長期運転後に如何なる不純物元素がどこに蓄積し、劣化に影響を与えているかを検討した。検討試料として、実証研究 (FT) に供されたスタック試料を中心に、空気極・燃料極中の不純物濃度を評価した。観測された不純物として、初期から空気極中の硫黄 (S) 濃度が数 10 ppm 以上と高く、運転後もその濃度は大きく変わらず、更に三相界面に濃集する傾向が認められた。運転後に空気極/電解質界面にクロム (Cr) が濃集していることも確認された。また、空気極表面および空気極/電解質界面へのホウ素 (B) の濃集が認められた。これらの不純物が空気極の過電圧を高くしかつ劣化率を大きくしている原因と考えられた。不純物供給源として、S は作成時の電気炉や原料、および運転時には空気中の SO<sub>x</sub> や金属材料中の S 成分が考慮される。不純物 Cr の供給源は、金属材料中の Cr 成分と考えられた。不純物 B の供給源は、ガスシール材中の B 成分が想定された。本分析などの結果をうけて B については、H21 (2009) 年度にシール材の改良を行ない、H22 (2010) 年度機でその濃度が低減されたことを確認した。さらに S 成分の低減などの対策を施した後では、耐久性が上昇したことを確認した。

#### ④ 円筒横縞形スタックの高耐久化

前期プロジェクトから詳細に調査している空気極の Cr 被毒現象に関して、SIMS による微量濃度分析と劣化との相関について、検討した。LSM 系空気極と電解質界面に CeO<sub>2</sub> 層を挟んだ改良セルでは、空気極中での Cr 濃度は数 ppm 以下にまで減少していることを確認したが、挿入セリア層には 10 ppm 程度濃集していた。空気極/セリア系中間層界面での緻密化現象を初めて検出し、この緻密化が空気極性能劣化の重要な要因であることを発見した。これを受けて、寿命予測の基礎データを提供することができた。

このように、実セル・スタックの反応界面での微量不純物分析、劣化メカニズム解析を通じて、耐久性向上を図ることに貢献した。

表Ⅲ-1.1-24 産総研が後期（H23-H24）に取り組んだ内容と成果

開発スタック	これまでの耐久性に貢献した成果（～H22年度）	残された技術課題	産総研が取り組んだ課題	後期での成果
筒状平板形	<ul style="list-style-type: none"> <li>蓄積不純物の種類、濃度、蓄積部位の特定</li> <li>構成元素拡散と安定性</li> <li>電解質の相変態</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>外来気相不純物が耐久性に及ぼす影響</li> <li>抵抗増加要因の存在可能性確認（10万時間耐久に向けた）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証機の不純物分析</li> <li>燃料極側での不純物蓄積と劣化分析</li> <li>セリア中間層中のSr拡散</li> <li>電解質相変態</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証機において、S, Cr不純物が数10ppm以下で劣化の影響小</li> <li>燃料極/支持体界面でのSi, P濃集の劣化への影響小</li> </ul>
筒状横縞形	<ul style="list-style-type: none"> <li>蓄積不純物の種類、濃度、蓄積部位の特定</li> <li>構成元素拡散と安定性</li> <li>電解質の相変態</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cr被毒など、気相不純物が耐久性に及ぼす影響</li> <li>分極抵抗増加要因の存在可能性確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証機の不純物分析</li> <li>機能界面での不純物増大、元素拡散（Sr, Cr）と性能低下の相関説明</li> <li>YSZ相転移</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証機において、Cr, Sなどの濃集部と劣化を観測した。</li> <li>SrZrO<sub>3</sub>の生成量、YSZ電解質相変態量と劣化評価</li> </ul>
小型円筒形		<ul style="list-style-type: none"> <li>劣化メカニズム説明および改良セルの評価と寿命予測</li> <li>シャットダウン時の挙動分析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証機における不純物分析</li> <li>機能界面での不純物蓄積と性能低下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証機において、B, Cr, Sなどの濃集と劣化との相関を説明</li> </ul>
円筒横縞形	<ul style="list-style-type: none"> <li>蓄積不純物の種類、濃度、蓄積部位の特定</li> <li>構成元素拡散と安定性</li> <li>電解質の相変態</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>改善セルでの効果確認</li> <li>特定陽イオンの経時移動・構造変化が抑えられたことの、微視的観察</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>改善セルでの元素拡散、不純物蓄積解析と性能低下の相関説明</li> <li>実装セルスタックでのCr堆積量計測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>改善セルでの空気極/中間層/電解質界面での元素拡散、Cr不純物濃度が数ppmレベルであることを確認</li> </ul>

## ii. 化学的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立

平成 23 年度～24 年度においては、本事業に参画する各 SOFC スタック開発企業からの要望に基づき、それぞれが抱える技術課題解決のための研究に重点を置いた。各企業と緊密な連携を行い、企業実セルの 1000 時間レベルの耐久性評価試験、緊急シャットダウン試験、耐久試験後の高分解能電子顕微鏡観察 (STEM-FIB) による化学劣化原因究明等により課題解決を行った。また、企業セルの耐久性向上に資する基礎データ・比較検討データとして、数十～1000 時間レベルの長時間被毒耐久性、熱サイクル耐久性、緊急シャットダウン耐久性等に関する劣化率データを多岐にわたる作動条件において系統的に取得するとともに、化学劣化メカニズム解明、データベース化を実施した。各企業との連携内容は以下のとおりである。

### ① 筒状平板形スタックの高耐久化

LSCF 空気極/セリア系反応防止層/ジルコニア系電解質界面に生成する  $\text{SrZrO}_3$  はセル内部抵抗増加要因となり得るため、まずは長期運転後の状態を正確に把握することが課題になっている。九大では STEM-電子線回折を用いて、界面に生成した微細な  $\text{SrZrO}_3$  とその周辺の結晶方位を観察することにより、 $\text{SrZrO}_3$  はセリアの界面構造に起因しながらセリア中に成長することを明らかにした。今後さらに高分解能で、運転状態における元素の拡散、結晶構造の変化、詳細な生成メカニズム・成長機構等を原子レベル・ナノレベルで正確に観察・解析することにより、化学的解析から寿命予測と高耐久化に貢献できる可能性を確認した。また、実セルの  $\text{H}_2\text{S}$  被毒耐久試験を九大内で実施した。 $\text{H}_2\text{S}$  被毒加速試験の目的で、改質模擬ガスに比較的高濃度 (5 ppm) の  $\text{H}_2\text{S}$  を加えて 1000 時間のセル試験を実施し、九大のモデルボタンセルでの結果との対応を確認し、 $\text{H}_2\text{S}$  濃度上昇による加速試験が可能であることを確認した。さらに、地震などの緊急時を模擬した緊急シャットダウン試験 (電気出力停止、燃料ガス停止と同時に降温開始) を実施し、導電性支持基板等への影響を検討中である。

### ② 筒状横縞形スタックの高耐久化

実セルの  $\text{H}_2\text{S}$  被毒耐久試験を九大内で実施した。 $\text{H}_2\text{S}$  被毒加速試験の目的で、水素燃料に高濃度 (5 ppm) の  $\text{H}_2\text{S}$  を加えて 1000 時間のセル試験を実施した。セル性能の顕著な低下は見られず、被毒試験後の STEM-EDX 観察においても、 $\text{H}_2\text{S}$  被毒有無による化学組成変化や Ni 粒径変化も特に判別できず、 $\text{H}_2\text{S}$  5 ppm では影響は小さいことを確認した。さらに、緊急シャットダウン試験を実施し、シャットダウン 100 サイクルでの性能低下は小さく実用的に問題ないことを確認した。

### ③ 小型円筒形スタックの高耐久化

メーカー側で試作し発電試験を行ったサンプルを順次、九大内で STEM-EDX 分析することにより、電極微細構造、組成変化を明らかにし、耐久性向上のための改良指針の導出に貢献した。シャットダウン試験後セルの STEM-EDX 分析では、131 回後のアノードにおいても初期との差が見られないことを確認している。

### ④ 円筒横縞形スタックの高耐久化

既に本事業における耐久性目標を達成したセルに対して、さらなる長寿命化のための対策を明らかにすることを目的に、12,000 時間運転後のセルの STEM-EDX 分析を行った。運転中に LSCM カソードとセリア系中間層との界面に生成する界面生成物の抑制が長期的に予想される課題であり、微細構造変化、元素組成変化の測定を通して、原因の明確化と対策を検討している。

表Ⅲ-1.1-25 九大が後期(H23-H24)に取り組んだ内容と成果

開発スタック	九大への依頼事項	取り組みと成果
筒状平板形	<ul style="list-style-type: none"> <li>・反応防止層と電解質界面に生成する SrZrO<sub>3</sub> の形状と抵抗 (STEM)</li> <li>・実セル・実燃料での被毒劣化挙動の確認</li> <li>・シャットダウン時の導電性支持基板の酸化還元状態 (STEM)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・STEM-電子線回折により、SrZrO<sub>3</sub> とその周辺の結晶方位を観察し、生成メカニズム解明の可能性、寿命予測と高耐久化に貢献できる可能性を確認。</li> <li>・改質模擬ガス+5 ppm H<sub>2</sub>S でのセル測定 (1000 h) により、被毒によるセル劣化率を定量。H<sub>2</sub>S 濃度による加速試験が可能であることを確認。</li> <li>・九大にて、単セルのシャットダウン試験を実施、導電性支持基板への影響を検討中。</li> </ul>
筒状横縞形	<ul style="list-style-type: none"> <li>・微量不純物による劣化の定量評価</li> <li>・燃料極の微構造変化解析 (経時変化)</li> <li>・燃料極、空気極の微構造変化解析 (緊急シャットダウンに伴う変化)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水素+5 ppm H<sub>2</sub>S でのセル測定 (1000 h) により、被毒によるセル劣化率を定量。</li> <li>・STEM-EDX により上記被毒試験後の燃料極に H<sub>2</sub>S 被毒の影響が小さいことを確認。</li> <li>・緊急シャットダウン試験 100 サイクルを実施し、劣化率が実用上問題ないことを確認。</li> </ul>
小型円筒形	<ul style="list-style-type: none"> <li>・微構造分析や化学分析による劣化メカニズム解明 (STEM)</li> <li>⇒連続耐久品 (実証機) およびシャットダウン品の分析と課題抽出</li> <li>⇒特に集電金属などによる被毒劣化挙動の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電試験後のサンプルを順次、STEM-EDX 分析し、電極微細構造、組成変化を明らかにし、改良指針 (空気極原料均一化、製造工程中の硫黄低減、クロム蒸発抑制など) の導出に貢献。</li> <li>・シャットダウン試験後セルの STEM-EDX 分析により、131 回後の燃料極においても初期との差が見られないことを確認。</li> </ul>
円筒横縞形	<ul style="list-style-type: none"> <li>・STEM-EDX による「改善・経時後」セルの観察、物質移動速度の推定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・耐久性目標を達成したセルに対して、さらなる長寿命化を図るため、12,000 時間運転後のセルの STEM-EDX 分析を実施。運転中に LSCM カソードとセリア系中間層との界面に生成する界面生成物の抑制が長期的に予想される課題であり、微細構造変化、元素組成変化の測定を通して、原因の明確化と対策を検討中。</li> </ul>

### iii. 機械的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立

#### ① 後期での成果

SOFCの機械的損傷リスクの評価には、酸素不定比性に伴う格子膨張や、雰囲気による機械的特性の変化など、SOFC材料に特徴的な因子を考慮する必要がある。本プロジェクトでは、当初よりこの点に着目し、物性データの蓄積、実験・解析手法の開発を行い、各種セルに共通的な課題に対して適用してきた。プロジェクト後期には、これを継続・発展させるとともに、得られた知見をもとに、各スタックメーカーと共同で、それぞれのセルメーカーが提示した個別課題に取り組んだ。以下に主な成果について記述する。

#### 1) 筒状平板形セル

##### ◎変形挙動の解析

筒状平板形セルは、その非対称形状のため運転の状況に応じて変形する。スタックではこの変形がうまく吸収されていることが、前期に実施したAE解析で明らかとなっているが、運転シーケンスの最適化や材料の改良のためには、変形挙動を把握するツールが有用であるため、均質化法に基づく有限要素解析のコードを開発した。計算には、物理化学的挙動や高温での弾性率の変化を考慮するため、本プロジェクトで測定した各種物性値を使用した。測定値が得られていない部材については、類似材料の物性値等を参照して推定した。

当初行った弾性解析では、各部に大きな応力が発生した。実際のセルではクリープ等の非弾性挙動が重要な役割を担っていることがわかった。非弾性変形を考慮した計算結果を実施し、レーザー変位計による模擬セルのその場形状観察の結果と比較したところ、実験結果をおよそ再現することが確認できた。今後、気固相反応速度定数など、境界条件を与える変数や、クリープなどの非弾性歪み速度の値を最適化することで、計算精度を向上させ、起動・停止などのケーススタディに利用することが可能となった。

##### ◎アノード基板の酸化還元耐性

アノード支持セルの酸化還元耐性には、支持体の酸化還元時の形状変化が大きく影響する。そこで、高温・制御雰囲気下で測定が可能な熱膨張率計、および制御雰囲気下で観察が可能な走査型電子顕微鏡(E-SEM)を用いて、酸化還元時のマクロ・ミクロ挙動を観察した。その結果、ガス雰囲気の変化に応じてニッケル粒子の酸化還元が生じるものの、凝集の進行度は小さく、機械的信頼性に関して問題となる極端な粗粒化などの現象はみられないことがわかった。実際に熱膨張率計で測定した等温酸化還元時の変化は、材料の熱膨張率と比較すると無視できる程度であり、ミクロ構造の変化がマクロ構造に及ぼす影響が小さいことが明らかとなった。これにより、当該セルに用いられているアノード支持体は、高い酸化還元耐性を有するものと評価した。

#### 2) 筒状横縞形セル

##### ◎材料の高温機械的特性

筒状横縞形セルでは絶縁基板が用いられるが、その長時間使用後および酸化還元サイクル後の機械的特性の変化の有無を、本プロジェクトで整備したSP(スモールパンチ)試験によって、高温・還元雰囲気下で評価した。

800℃、加湿水素中での破壊強度は、作製後に空気中で測定した場合に比べて若干向上する傾向が見られた。この強度は4000時間の長期試験後でもほぼ変化しなかった。さらに、酸化還元サイクルを行った試料でも有意な強度低下は見られなかった。一方、高温での縦弾性係数(ヤング率)は、最初の酸化還元サイクル後に低下し、その後は一定値を保った。この変化は、基板とセルとの間での熱応力を軽減する方向であり、かつ破壊強度は変化しないことから、機械的信頼性の観点からは長期耐久性・酸化還元耐性の高い基板であると判断できる。

##### ◎電解質ピンホールの影響評価

多孔質基板上に電解質膜を形成するタイプのセルでは、製造工程で電解質に欠陥が生じることがある。この欠陥の周囲での温度、応力状態を明らかにし、欠陥の許容サイズを得ることを目的として、意図的に欠陥(ピンホール)を導入した模擬セルについて、発電試験中におけるその場ラマン分光測定を行った。セリアに起因するラマンピークに着目して、局所温

度と酸素分圧の変化を推定した結果、特に空気極側に水素がリークする場合には、温度変化が大きく、周囲の材料への影響も大きいことがわかった。得られた結果を基に、欠陥周りの応力解析を行うことで、欠陥の許容サイズを見積もることが可能となった。

### 3) 小型円筒形セル

#### ◎基礎物性の取得

プロジェクト後半から研究対象に加わったセル形式であり、機械的信頼性評価のための情報の取得、各部材の基礎物性値の整備、およびセルの挙動の確認から着手した。

#### ◎応力解析によるセル信頼性の考察

応力解析に先駆けて、起動停止を含むセル動作時の損傷発生の可能性について、AE法による解析を行った。この結果、運転初期の燃料極の還元に伴う軽微な信号以外は有意な信号が見られず、このセルが健全に動作していることが確認できた。

部材の基礎物性の取得と並行して、単純化した構造モデルと各種物性の推定値を用いた予備的な応力計算を行った。このタイプのセルは、軸対称構造を持つため、マクロな変形は軸方向・円周方向への膨張・収縮のみであり、これらを許容するスタック構造とすることで高い機械的信頼性が期待される。ただし、アノードの一部とアノード側中間層にはセリア系材料が用いられており、運転状況に応じて酸素不定比性とそれに伴う格子体積の変化が生じ、これにより運転の各段階に応じてセル内に複雑な応力が生じること示す結果を得た。

一方、セリアを含む層については、レーザーラマン分光法を用いて、ラマンシフトおよびピーク強度を標準粉末試料と詳細に比較することにより、組成と酸素欠陥濃度とを分離測定する手法を開発した。この測定結果と微細構造観察とを併せて評価し、プロセシングの異なるロット間で組成と微細構造のばらつきがあることを確認した。さらに、これらの違いが機械的信頼性に有為な差を生じる可能性があることを、ナノインデンタを用いた破壊靱性値の相対比較によって明らかにした。

#### ② 残された課題

SOFCの機械的挙動のシミュレーションには、酸素ポテンシャル分布の解析が不可欠であるが、この計算には界面輸送速度やクリープ挙動など、複雑な物理化学現象に影響される速度論的パラメータが必要である。現状では、これらは一部の実験結果の他、文献や経験等による推定値を用いているが、今後、計算精度を向上させ、また、低コスト化や高信頼性化に向けてより幅広い材料系に効率よく適用するためには、これらの値の理論的考察が必要である。

また、現状では、異なる形状のスタックのシミュレーションを行うためには、その都度、コードの書き換えが必要となっているが、今後、市販のパッケージに付加して使用できる形に統合できれば、より幅広くSOFC開発に貢献するものとなるだろう。

表Ⅲ-1.1-26 機械的解析進捗と個別課題

研究開発項目	中間評価までの進捗	後期の実施内容, 成果	今後への課題
セルの耐久性評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機械的損傷のセルスタックの対称性による分類</li> <li>・セル/スタックの AE 測定</li> <li>・共通性の高い課題の抽出.</li> <li>・円筒横縞セルのカソード界面の機械的特性の測定</li> <li>・円形平板セルの応力解析と損傷機構の解明</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・筒状平板セル 変形/応力の非弾性解析 アノード基板の酸化還元挙動</li> <li>・筒状平板横縞セル 長期使用/酸化還元後の絶縁基板の高温機械的特性の評価</li> <li>・小型円筒セル 応力解析, ロットによる組成・微構造と機械的特性の相関</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シミュレーションに用いるパラメータの精密化 (クリープ速度, 界面輸送速度)</li> <li>・シミュレーションコードの一般化, 市販コードへの組み込み</li> </ul>
模擬セルによる検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・強拘束平板模擬セル 応力測定(ラマン分光) 苛酷試験 (AE) .</li> <li>・弱拘束非対称模擬セル その場形状測定(レーザー).</li> <li>・ピンホール薄膜電解質 欠陥周辺部のラマン分光法.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・弱拘束非対称模擬セル 起動・停止動作での変形挙動の観察</li> <li>・ピンホール薄膜電解質 欠陥周辺部の温度・酸素ポテンシャル・応力の測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期信頼性評価への模擬セルの適用方法の検討</li> </ul>
基礎データ取得・整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>(La,Sr)(Co,Fe)O_3</math> , <math>(La,Sr)(Ga,Mg,Co)O_3</math> の酸素不定比性, 格子定数.</li> <li>・ YSZ, ScSZ, <math>CeO_2-Gd_2O_3</math>, <math>CeO_2-Sm_2O_3</math> , <math>(La,Sr)(Ga,Mg,Co)O_3</math> の共振法, スモールパンチ試験または 4 点曲げ試験の高温・制御雰囲気下での弾性率と破壊強度</li> <li>・ Ni サーマットの延性化.</li> <li>・ 酸素不定比性, 混合導電性, 高温機械特性を考慮した応力計算コードを開発.</li> <li>・ 電極の微細構造の均質化法に基づく応力解析開発.</li> <li>・ 第一原理計算による Ni-YSZ 界面エネルギーの計算</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>(La,Sr)(Co,Fe)O_3</math> の酸素拡散</li> <li>・ <math>(La,Sr)(Co,Fe)O_3</math> の弾性率, 強弾性挙動</li> <li>・ <math>(La,Ca)CrO_3</math>, <math>(La,Sr)MnO_3</math> の弾性率・ポアソン比</li> <li>・ <math>CeO_2</math> 系材料の弾性率・不定比性のドーバント依存性</li> <li>・ Ni-YSZ サーマットの組成/気孔率による酸化還元耐性のマップ作成</li> <li>・ Ni-YSZ サーマットのクリープ変形速度, 繰り返し応力場でのクリープ挙動</li> <li>・ セリア系酸化物の破壊靱性値への水蒸気の影響の MD による予測</li> <li>・ Ni-YSZ の凝集のシミュレーション</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>界面での輸送速度の定式化 =&gt; セルのポテンシャル分布/応力シミュレーションの精度向上。</li> <li>高温機械的特性(弾性率・クリープ等)と材料組成/物理化学特性の相関の解明 =&gt; より低コストで高い機械的信頼性をもつ材料の探索指針の提案へ</li> <li>第一原理計算を用いた機械的特性の評価</li> </ul>

#### iv. 三相界面についての劣化現象と微細構造変化の相関付け

##### ① 筒状平板形

本プロジェクト前期に FIB-SEM を用いることで、希土類添加セリア中間層中に生成した SrZrO<sub>3</sub> 分布の可視化に成功した。この技術を基にして、セル内の SrZrO<sub>3</sub> 量や分布と性能の相関を調べることを目的とした。前期に取得した構造データを用いて、SrZrO<sub>3</sub> が生成した中間層内のオーム損を数値シミュレーションにより算出したが、電池性能への影響は非常に小さいことが示唆された。そこで、1000 °C で処理した熱加速試料の評価を同様の手法を用いて実施した。EPMA で評価した SrZrO<sub>3</sub> 量と出力変化率の間に相関が見られたが、FIB-SEM で得た構造情報を用いて計算したオーム損は非常に小さいことが明らかとなった。したがって、SrZrO<sub>3</sub> (絶縁相) 生成によるオーム抵抗増大だけでは、実験での性能劣化を説明できないことが示された。以上より、CeO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> 固溶体形成によるイオン流束集中やカソード自体の形態変化がその他の劣化要因として考えられる。

##### ② 筒状横縞形

運転時間とアノード微細構造変化の相関解明に取り組んだ。活性な三相界面長さは運転時間の長期化や温度に応じて徐々に減少する傾向を示したが、電中研が開発した性能式により算出されたアノード過電圧との間に強い相関は見られなかった。また、5000 時間の長時間運転に供しても電極/電解質界面からの距離に対する三相界面の分布に特異な変化は観察されなかった。FIB-SEM により得られたアノードの 3 次元構造情報を直接用いて、微細構造パラメータの算出および数値シミュレーションによる性能予測 (20%加湿水素下) を実施した。計算結果にはネルンストロスが含まれているため、過電圧の絶対値の対応は取れなかったが、三相界面長さの減少に応じた序列を示した。

##### ③ 小型円筒型

集電体中の Ag 成分がカソード/電解質界面に移動する現象が観察されたことから、その分布を 3 次元解析するとともに、数値シミュレーションによる性能への影響評価を行った。6700 時間運転後の試料において、界面近傍の気孔を埋めるように Ag が集積している様子が観察された。再構築した 3 次元構造を用い、Ag を完全な電子導電体と仮定した格子ボルツマン法による過電圧予測シミュレーションを実施したが、実験結果の傾向を予測するには至らなかった。Ag 内の酸素原子の拡散や Ag/LSCF 界面反応等の効果が考慮されていないことが原因ではないかと考えられる。また、カソード/電解質界面において閉気孔が確認されたが、電解質表面のラフネス変化が小さく孤立領域は狭いことが示された。

アノードの解析では、初期セル、6700 時間運転セル、およびシャットダウン操作を 131 回繰り返したセルの微細構造を比較した。初期セルと比較すると、他の 2 種類の試料では三相界面長さが減少していたが、その程度は小さいことが示された。また、電極/電解質界面から電極膜厚方向に対して各相の分布を解析したが、構成成分の偏在は無く一様な分布を示した。

④ 円筒横縞形以前の仕様のセルでは、LSCM/YSZ 界面における閉気孔の生成や電解質ラフネスの増大が観察されており劣化要因とされていたが、セリア中間層の導入により安定性が改善されている。そこで、セリア中間層導入による界面の安定性を評価することを目的として、閉気孔分布やラフネス変化を FIB-SEM により解析する。初期セルと 12000 時間運転セル (900°C) をプロジェクト終了時まで比較する予定である。

##### ⑤ 基礎研究

様々な運転条件下における電気化学的な劣化挙動データ、およびそれに付随する電極微細構造変化の収集、局所構造の解析を継続して実施している。実機セルとの対応では、Redox 処理のアノードへの影響やカソード/セリア系電解質の界面安定性の解析に取り組んだ。また、3 次元構造情報を基にした数値シミュレーションでは、両電極の過電圧予測が可能なプログラムを開発し、実機データの性能予測に適用した。

#### v. 耐久性評価手法の確立

平成 23 年度～平成 24 年度の後期においては、本事業に参画する各 SOFC スタック開発事業者からの要望に基づき個別課題の解決に取り組み、表 III-1.1-27 に示すように長期耐久性試験と改良効果の検証や性能(寿命)評価式/耐久性評価手法の開発等を行い、セル・スタック開発にフィードバックし劣化率の改善に貢献した。各企業との連携内容と主な成果は以下の通りである。

### ① 筒状平板形

中温筒状平板形スタックでは、2008 (H20) 年モデルを用いて運転温度 750 °C で 1 万時間以上に延長して長期耐久性評価を実施しており、これまでに 1.4 万時間の耐久性試験を実施中である。本セルにおける電圧低下は、内部抵抗の上昇が主要因であったが、1.1 万時間以降に燃料極や空気極の過電圧上昇が見られ始めている。また、発電初期から 1.4 時間までの電圧低下率は 0.26 %/1,000 h となり、目標劣化率(0.25 %/1,000 h)をほぼ満足し、十分な耐久性を示すことを明らかにした。

750 °C, 800 °C における 8000 時間までの内部抵抗、燃料極、および空気極の反応抵抗の経時変化から現象学的に温度や時間の因子を入れて整理した。その結果、内部抵抗の増加は運転時間の 0.5 乗から 1.0 乗の範囲で整理でき、燃料極や空気極の反応抵抗増加は時間の 1.0 乗で近似可能と考えられた。そこで、各抵抗成分の時間依存と運転温度を因子とした寿命評価式を導出した結果、本式を適用することで 1.4 万時間程度までの挙動をよく模擬できることが分かった。

### ② 筒状横縞形

中温筒状横縞形スタックでは、1 万時間と 0.8 万時間までの長期耐久性評価を実施している。1 万時間試験では発電初期から 2,000 時間において、試験装置や評価手順等に起因したと考えられる異常な電圧低下現象が見られたため追試験を実施した。追試験においても発電初期～2,000 時間において電圧低下が見られているが、その主要因は内部抵抗の増加であることや、2,000 時間以降においても、劣化の主要因は内部抵抗の増加であることを明らかにした。

### ③ 小型円筒形

プロジェクト後期では、新たに小型円筒形を対象として、性能決定要因分析の基本式となる性能表示式を導出した。性能表示式の導出にあたっては、これまで他の形式で開発してきた導出手順を適用した。具体的には燃料極ガス組成や空気極ガス組成、運転温度を因子として開路電圧、出力電圧、内部抵抗をそれぞれ実測し、各条件における性能表示式の予測電圧が最も精度よく出力電圧を表すことができる燃料極( $R_a$ )、空気極( $R_c$ )の反応抵抗式のガス分圧依存性として、 $R_a \propto P(\text{H}_2)^{-0.5}$ 、 $R_c \propto P(\text{O}_2)^0$  をそれぞれ導出した。この性能表示式を TOTO が実施した運転履歴等が異なる複数台の FT 機(2010 (H22) 年度仕様)の解析に適用した。その結果、いずれの FT 機においてもカソード過電圧の増加が電圧低下の主要因であると推定される結果を得た。

また、本スタックでは、OCV 条件下での測定において、ネルンスト電位と測定電位との差が認められ、ランタンガレート系電解質中の酸素透過による影響が示唆される結果を得た。前期参画スタックである円筒平板形がコバルト添加ランタンガレート電解質を用いていたが、OCV 条件下での測定電位の挙動はやや異なっており、円筒平板形では OCV 電位の高い領域でのみネルンスト電位との差異が見られたのに対し、小型円筒形ではより広い電位範囲で差異が観測された。本現象については、横川 PL、スタックメーカーならびに東北大学と連携を取りながら現象理解を行っている。

今後プロジェクト終了までに、発電モジュールを用いて一定条件における長期耐久性評価を行ない、抵抗成分を分離して抵抗成分毎の電圧低下率の定量的評価を行う。

### ④ 円筒横縞形

クロム被毒対策のひとつとして空気極中間層に(CeSm)O<sub>2</sub>を用いたセル・スタックを用いて、クロム発生源の有無の違いによる耐久性評価試験(改良効果の検証)を実施した。Type III(7号機,クロム発生源無し)では、出力電圧はほぼ一定か上昇傾向を示し1万時間程度まで安定に推移しているのに対し、クロム存在下の条件で実施したType V(8号機)では、徐々に出力電圧が低下することが分かった。しかし、その劣化率は1.1万時間までの範囲において0.17%/1,000hと非常に小さいことも明らかにした。各仕様(Type I ~ Type V)の空気極過電圧の経時変化のみを抽出して比較したところマンガナイト系空気極中間層(Type I)とセリア系中間層(Type V)を比較した場合には、空気極過電圧の増加速度はクロム存在下において5mV/1,000hから1mV/1,000hへと大幅に改善されていること、セリア系中間層を用いてクロム有無の違い(Type III, Type V)を比較した場合においても、その差異は1mV/1,000h(空気極の劣化率:0.09%/1,000h)と極微量であることから、セリア系中間層を用いることで、クロム存在下においても目標劣化率(0.25%/1,000h)を満足し、クロム被毒に対し十分な耐久性を示すことを明らかにした。

以上、本プロジェクトにおいて開発した耐久性評価手法を用いた各社SOFCに適用した結果を表III-1.1-28に示す(平成24年6月現在)。本耐久性評価手法では、仕様の異なる各社SOFCを統一的手法で評価することが可能であり、劣化要因を内部抵抗、燃料極、空気極に分類し劣化部位(改善対象部位)がどこか、またどの程度であるかを定量的に明らかにすることができると、セル・スタック開発にフィードバックすることが可能であり、劣化率の改善に貢献できた。

表III-1.1-27 電中研が後期(H23-H24)に取り組んだ内容と成果

開発スタック	電中研への依頼事項	取り組みと成果
筒状平板形	<ul style="list-style-type: none"> <li>7セルスタックを用いた20,000時間程度の長期耐久性試験と寿命評価式の提案</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2万時間に向けた耐久性試験を継続実施中。</li> <li>性能表示式に温度、時間の因子を入れて整理し、現象学的な寿命予測式を提案した</li> </ul>
筒状横縞形	<ul style="list-style-type: none"> <li>ショートバンドルを用いた10,000時間程度の長期耐久性試験による電圧劣化要因の定量的分析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1万時間の長期耐久性試験を2ケース実施中。</li> <li>抵抗成分の時間増加が劣化の主要因であることを明らかにした。</li> </ul>
小型円筒形	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証機における電圧降下各寄与への分離・改良セル評価</li> <li>ショートスタックを用いた長期耐久性試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証機データから劣化主要因が空気極過電圧の増加であることを明らかにした。</li> <li>OCV状態での電圧挙動は他のスタックとは異なる様相を示すことを指摘。</li> <li>ショートスタックを用いた長期耐久性試験により抵抗成分毎の電圧低下率を定量的に導出予定</li> </ul>
円筒横縞形	<ul style="list-style-type: none"> <li>劣化要因改善対策を施した長期耐久試験</li> <li>Cr被毒環境下での長期試験</li> <li>劣化要因対策の効果を検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>セリア空気極中間層を適用したスタック試験を実施中。</li> <li>クロム存在下の試験においても劣化率が非常に小さく、十分な耐久性を示すことを明らかにした。</li> <li>耐久性試験と性能解析を通じて対策効果の検証を行い、①空気極の微構造改善により過電圧が小さくなったこと、②セリア系中間層に変更したことでクロム被毒抑制効果が認められたことを検証した。</li> </ul>

表Ⅲ-1.1-28 各スタックの部位別電圧低下率の比較

2012年6月時点

セル名称 メーカー	セル仕様	温度 ℃	発電時間	耐久試験電圧低下率				備考
				空気極	燃料極	抵抗分	全体	
高温円筒横縞形 三菱重工業	TypeIII(-)	900	0-9kh	-0.02	-0.03	-0.04	-0.09	・ 空気極改善により空気極過電圧の低減、劣化率の低減を達成
	TypeV(Cr)	900	0-10kh	0.09	-0.01	0.09	0.17	
	TypeVI(-)	900	0-3kh	0.01	-0.03	-0.02	-0.03	
中央筒状平板形 京セラ	2008モデル	750	0-14kh	0.09	0.05	0.12	0.26	・ 耐久試験850℃で、劣化が加速
中温筒状横縞形 東京ガス	2010モデル	775	1-7.4kh	-0.04	-0.12	0.40	0.24	※初期異常劣化のため1kh評価
	2010モデル	775	0-6kh	0.14	0.12	0.37	0.63	初期劣化がやや大きい社内データでは40kh耐久が見込まれる
小型円筒形 TOTO	実証機 2012モデル	630-700 630	~5.4kh	◎ -				12年8月試験開始

## vi. 石炭ガス化ガス中の微量成分の影響に関する調査研究

石炭ガス化ガスに存在し得る微量成分の種類、濃度および形態などについては、使用する石炭、ガス化プロセス、ガス精製プロセス（形式や性能）およびプロセス構成（CO<sub>2</sub>吸収プロセスの有無など）に左右され、それらを包括的に取り上げてその挙動を一般化することは難しい。後期では、気相成分として H<sub>2</sub>S、COS、HCl、HF、NH<sub>3</sub>、微量重金属蒸気として Se、As、P に着目することとし、これらの挙動に関して、熱力学平衡論的な挙動解析と実験的挙動観察を展開した。

### ① 熱力学平衡論にもとづく微量重金属蒸気と燃料極材料間の解析

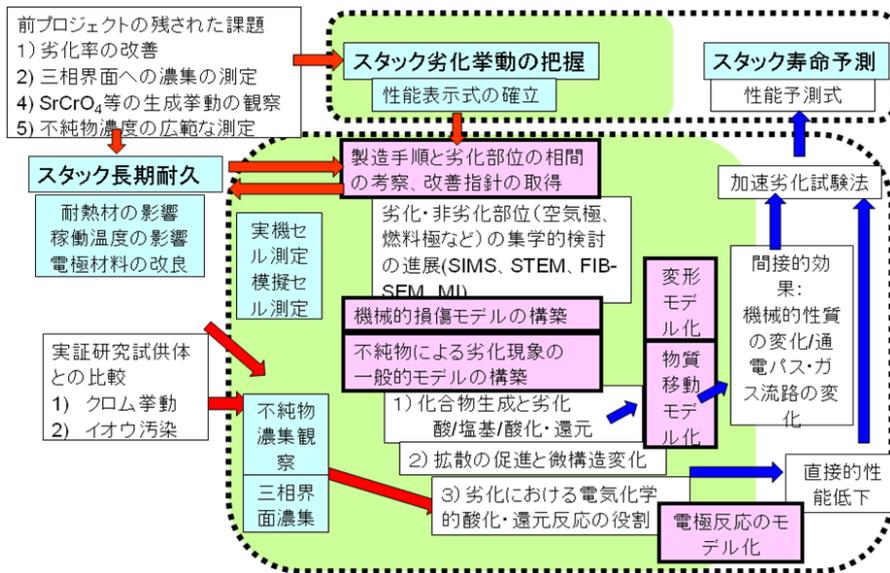
石炭ガス化ガス（CO:H<sub>2</sub>:CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O = 41.7 : 16.7 : 3.3 : 21.7 : 16.7 [vol %]）の中に AsH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>Se、PH<sub>3</sub> が 10 ppm 混在した場合の、微量重金属蒸気と Ni-YSZ の反応挙動を明らかにするために、種々の温度および燃料利用率の下での反応生成物の形態および平衡組成に関する予測計算を行った。また、本平衡計算結果を円筒直列連結形セル（円筒横縞形セル）内で生成する化合物とその分布の予測についても検討を行った。この結果、700～900 °C の範囲で As と P が Ni と反応して二次的な固相生成物（NiAs(s)、Ni<sub>5</sub>P<sub>2</sub>(s)）を形成し、この傾向は低温で顕著であることが判明した。このことから円筒形セル入口に低温部分が生じると、微量重金属蒸気の化学的劣化が助長されることが考えられる。一方、Se は H<sub>2</sub>Se(g) で安定であり、Ni との直接的な反応は起きないという結果が得られた。本モデルを実スタック内の挙動に適用するためには、セル内の流動挙動および Ni と微量成分間の反応に関する反応速度論的情報が不足している。この点に関する実験的情報収集が今後の基礎研究における課題と考える。

### ② 気相不純物による化学的劣化に関する実験的挙動観察

超低濃度（1 ppm 以下）で石炭ガス化ガス中に混在し得る気相成分（H<sub>2</sub>S、COS、HF、HCl、NH<sub>3</sub>）による出力低下現象の可逆性の有無を確認するために数百～千時間の曝露時間範囲で発電試験を進めている。燃料ガスとして石炭ガス化模擬ガス（燃料ガス直接利用型）と加湿水素ガス（CCS プロセス複合化による炭酸ガス回収後ガス利用型）を用い、これらのガスで発電中に 0.5 ppm および 2 ppm の H<sub>2</sub>S をドープさせた際の燃料極－参照極間の電圧変化を測定した。プロジェクト前半では H<sub>2</sub>S ドープ試験（2 ppm、50 時間）を実施し、回復型（可逆型）の影響があることを報告したが、曝露時間を延長したところ、燃料ガス種に係わらず不可逆的な出力低下が起きており、その出力低下率は CO 分圧が高い石炭ガス化ガス模擬ガスの方が大きいことが判明した。前期「熱力学的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立」課題での検討結果では、燃料極における H<sub>2</sub>S と Ni の化学反応（Ni-S の共融や Ni への S の固溶など）に関し、三相界面近傍の局所熱力学平衡論的比較から、水素燃料使用時と炭素系燃料（非平衡な炭化水素燃料を含む）使用時では、後者の場合において S の活性が高くなり、Ni-S 共融体の生成などが進行しやすくなることを指摘しているため、これとの整合性を検証する予定である。現在、硫黄系化合物のドープ試験が終了し、塩化水素などのハロゲン系化合物の影響に関する調査に移行し、本プロジェクト内で終わる予定である。長時間の曝露試験については、特に余震に伴う試験の中断が影響し、当初計画からは遅れているが、引き続き、残りの不純物の影響調査を進め、それらの影響の不可逆性の有無を確認する予定である。また、微量重金属のドープ試験に関してはそれらの水素化物を超低濃度かつ定常的に発生させる方法の確立が必要であり、これについても現在準備を進めており、本プロジェクト内で一応の結論を得る予定である。

(4) 総括とまとめ

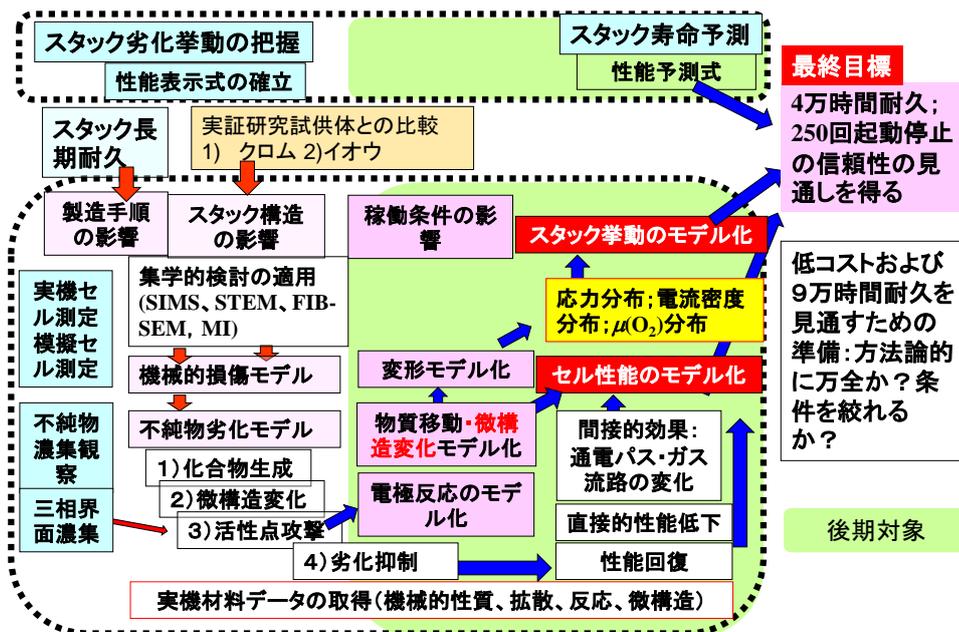
プロジェクト開始当初あまり定かでなかった産官学間の連携をよりスムーズにするために、PLと産総研が中心となってスタック側で問題視している劣化部位を、各基盤研究機関側の解析手段との関連で整理し、共通課題として取り組むべき課題を明確にした。各スタックと基盤側との連携は個別毎の対応と成らざるを得ないが、全体としてまとまる方向を常に意識して総合調整した。このようにしてまとめた劣化機構解明と加速試験法への流れの全体像を以下に示す。



図III-1.1-36 劣化機構解明進捗状況のまとめ

[後期の進捗とりまとめ]

中間評価意見並びに体制の変更に伴い全体的な劣化機構解明のとりまとめを次のように行うように変更した。



図III-1.1-37 劣化機構解明進捗状況のまとめ

各スタックの寿命予測は、空気極、燃料極、抵抗成分に分離した各項目を適切なパラメータで表し、その時間変化から寿命を予測した。

他方で、各スタック毎に明らかになっている主要な劣化部位の中で、加速劣化試験が適用できるところにおいては、温度を上げるなどの熱加速などの考えを取り入れて、加速を行い、性能と加速効果との相関を明らかにした。また、基盤側は加速試験に供された試料を詳細に物理化学的に検討することによって、当該加速劣化法の適否を示した。

#### a. 製造過程と劣化部位の相関

スタック耐久性評価結果と劣化機構説明結果を統一的に把握するための重要なステップとして、製造工程と劣化との相関を検討したところ、興味深い相関が認められた。

スタックの製造から運転にいたるプロセスは次のようにいくつかの工程に分けられる。

- ① 電解質の緻密化過程。この工程で、支持体も同時に焼結過程を経る。電解質支持以外では、どちらかの電極が同時に成膜される。(電解質・電極界面 I)
- ② 残る電極膜の製造
- ③ セルの積層
- ④ 酸化ニッケルの還元
- ⑤ 運転の開始。長期間耐久時の不純物
- ⑥ 起動停止 (サーマルサイクル) の影響

いずれも電解質部分を緻密化するプロセスに続く電極層の焼き付け工程と深く関連していることを見いだした。

表Ⅲ-1.1-29 製造工程と劣化部位の相関

	製造手順	空気極	電解質	燃料極	IC	接続	その他
中温筒状平板形	燃料極支持型電解質、IC 空気極	◎ 拡散				○	金属の空気中での使用 シール材使用 (低温部位)
中温筒状横縞形	支持体使用、燃料極、電解質; IC; 空気極	◎ 拡散					シール材低温部位で使用 リークの克服
高温円筒縦縞形	空気極支持型電解質、IC 燃料極		● 燃料極側	●		△	シールレス; 燃料極側で不純物濃度大、Cr 被毒なし
中温円形平板形	電解質支持燃料極; 空気極 金属 IC	反応	○	●		○	シールレス; 金属 IC; 燃料、空気中での不純物多い
高温円筒横縞形	支持体使用燃料極 電解質、IC 空気極	◎ 拡散 Cr				△	Cr 被毒検出 リークの改善

電解質と同時に成膜される部位

●:解決に取り組んでいる課題; ◎解決策が見えてきた課題;

○:解決が必要な課題; △:注視している課題

#### b. 局所平衡近似の適用と一般化された劣化モデルの構築

電極の劣化を取り扱う際に、水崎らが提唱し、横川らが空気極と電解質の化学的安定性解析に用いてきた局所平衡近似を全面的に取り上げた。電極物質に関連した成分と気相種との反応

による化合物生成、吸着などによる拡散の促進、電気化学的活性点の直撃のほか、酸化・還元に伴う体積変化に起因する機械的不安定性も同じ近似で取り扱えるため、三相界面近傍の現象からより高次な現象まで取り扱える。また、近年米国 DOE SECA (Solid State Energy Conversion Alliance) プログラムの中で精力的に行われている石炭ガス化ガス中の不純物の影響も、このモデルを用いれば、石炭ガス固有の問題がより一般化されたモデルの中で他の現象と同じ手法で取り扱えるようになった。

これら二つの視点は、いずれも本プロジェクトの中で、対象としている組成変動、微構造変化、変形にともなう応力発生などの理解とモデル化を一体的に推進するのに非常に役立っており今後も更に充実すべきものと判断する。

### c. 後期成果のまとめ

後期参画した小型円筒形は、アノード支持形であるため、後期ではアノード支持2スタック、支持体支持2スタックとなった。前期で明らかにした製造手順との相関からは空気極が課題となる部位になるため助言推進委員会での指摘もあり、空気極を集学的に検討することにした。ただし、電解質・燃料極についてもそれぞれ劣化要因の分析を行った。

YSZ系電解質では、立方晶から正方晶への変態によって伝導度が低下することが良く知られているが、工学的にはどの程度の低下がどの程度の時間スケールで起こるかが重要である。本プロジェクトでは、アノード支持の電解質において固溶するニッケルがこの相転移を促進すること、この促進機構にはNiOのNiへの還元が関与しているために、電解質内の酸素ポテンシャル分布が重要であることを明らかにした。

4スタックの空気極の性能・劣化を比較することにより、製造手順の他に、運転条件(温度、過電圧など)の影響が強くていることが明らかになった。低温ほど性能低下が著しい場合が認められ、不純物の影響があると判断された。SIMSによって計測された濃度から、いずれも100 - 1000 ppm以下の濃度領域でも、電極性能に影響を及ぼしていることが明らかになった。また、空気極と電解質との間に挿入するセリア中間層中のSrZrO<sub>3</sub>生成挙動は、想定された機構よりもさらに複雑であることが判明した。いずれも、加速劣化法が適用され、劣化機構として想定されている要因が明らかにされ、加速劣化法の有効性はみとめられた。他方、詳細に加速された試料を分析すると背景に複雑な物理化学現象があるのが確認され、更なる検討が必要と判断された。

以上のように、劣化を支配する環境的要因として、材料内部での酸素ポテンシャル分布、運転温度域での特定の元素の拡散、100 - 1000 ppm程度以下に濃集する不純物などが挙げられ、今後も詳細に検討することで、更なる劣化の改善が期待される。

前期を含めたまとめを行うと、製造手順はどの部位に劣化が現れやすいかを知るには重要であることは後期でも確認できたが、更に燃料電池スタックの運転条件が深く劣化に関与していることが明らかになった。特にスタック内の酸素ポテンシャル分布が運転時ばかりでなく起動停止時においても重要な考察対象であることがわかった。また、運転温度に加え、電極の過電圧、電流密度の効果も再認識され、前期より取り組んでいる局所平衡近似が定常状態の解析ばかりでなく、起動停止時のような動的なプロセスについても極めて有効であることが認められ、今後の取り扱いに関して大きな示唆を与えることができた。更にこのような運転条件が重要になるということは、単独部位の劣化に加え、セル集合体として取り扱う必要のある劣化が明確に見え始めたことを意味している。このような事態に対処すべく、高度なシミュレーション技術の確立が焦点になるとの認識をもつにいたった。

最終目標に対しては、円筒横縞形や筒状平板形のように劣化機構の解明と改善が進み、高耐久性・高信頼性を達成するスタックが現れ、他のスタックも最終目標についてはほぼ達成可能と判断された。いくつかの劣化要因については、加速劣化試験が検討されたが、その有効性が認められたものの、劣化機構解明と連動して行うことの重要性が再確認された。これらの成果から、本プロジェクトにおける産官学連携が適確であり、適切にスタック側の改良へと結びついていることが認められる。

## (5) 成果の意義

### a. 集学的取り組みにおける方法論の確立

#### (a) 電解質・電極微構造の検討

前プロジェクト「信頼性向上に関する研究開発」では SIMS を用いた不純物濃度の測定が成功裏に行われた他、異種界面近傍での化合物生成・相互固溶の観測に威力を発揮した。三相界面近傍での不純物濃集の測定を試み、良い結果を得たので、本プロジェクトでは三相界面に濃集する不純物の測定に焦点を当てた。三相界面領域では、FIB-SEM による三次元微構造の再構築が予想以上に威力を発揮し、従来は全く手がつけられなかった現象を詳細に検討することが出来るようになった。特にナノサイズのポアが生成するような領域で、そのポアが閉じているか開いているかなどの電気化学的に重要な情報が FIB-SEM 解析で得られた三次元像より導出できた。同じ領域で STEM を用いた解析でどのような元素が拡散していく過程でどのような化合物を生成しているかが分かるようになった。またマイクロインデンテーションを適用することによりナノ領域での機械的性質を調べることができ、ナノサイズポア形成の影響を調べることができた。このよう種々の測定手段を駆使することにより、よりの確により総合的に劣化現象を把握することが出来るようになった。

シミュレーション技術も重要な役割を担っている。「熱力学的解析」で蓄積している拡散データを用いて、長期的な構造変化を予想することができる。また、あまりデータの蓄積のない表面エネルギー・界面エネルギーの理論的な導出によって、より実機セルの挙動を理解出来るようになると期待される。

#### (b) 機械的安定性に対する方法論の確立

機械的な安定性がどのように運転中あるいは起動停止時に変化するかは、熱膨張に起因する体積変化とともに酸化・還元起因する体積変化をも考慮する必要がある。また、電極等の微細構造は応力分布の形成に重要な因子となるため、基礎物性データの集積とともに、FIB-SEM で得られた電極微構造データも必要となってくる。また、長期耐久後の信頼性の評価のためには、運転中に局所組成が変動する効果を取り入れる手法が有効であり、これには拡散データと反応性の情報とを用いることができる。このような基礎データと電極材料・電解質材料・インターコネクト材料の欠陥の科学による理解を元にしたシミュレーションによって機械的安定性をより総合的に集学的に行うことができるようになった。

#### (c) 方法論の確立（後期追記）

製造後あるいは長期耐久後の試料のキャラクタリゼーションについてのラマン分光による進展が電解質およびセリア中間層に対して認められる。ジルコニア系電解質の立方晶と正方晶の違いを電解質の各部位で測定することに成功し、その場所における酸素ポテンシャル・温度より相変態現象を総合的に取り扱う基盤を提供できた。また、セリア系中間層ではラマン分光のピーク値と半値幅を考慮することによりセリア中のドーパントの挙動、酸素空孔の挙動に関する情報を入手することができるようになり、応力解析の重要な進展が認められるようになった。また、界面生成物のキャラクタリゼーションでは、STEM 電子線回折による方位の観察が、 $\text{SrZrO}_3$  生成機構解明に大きく寄与した。

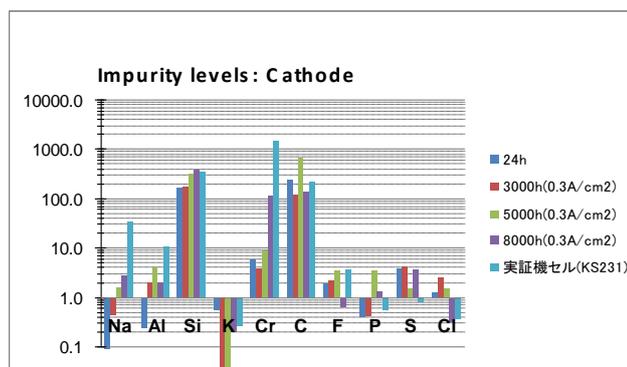
シミュレーション技術として、再構築された 3D 微構造データを用いて、セル性能を決める要因である抵抗成分あるいは過電圧を計算で求め、実測値と比較し、シミュレーションの妥当性を検討する段階に達した。

### b. 実証研究との連携

#### (a) 劣化解析結果の取り込み

前プロジェクトからの経緯から言えば、「信頼性向上に関する研究開発」において実証研究に供されている筒状平板形の劣化挙動の解析が行われ、空気極中間層および接続金属関連の改善の必要性が認識された。その最初の改良機が、平成 19 年度実証機に対応する。劣化率が未だ 1.5 %/ 1000 h 程度であった。その後も前プロジェクト並びに本プロジェクトの成果を取り入れて、改良が施され、実証機レベルでの耐久性の改善とともに性能の向上が図られた。

(b) 実証研究試料の分析

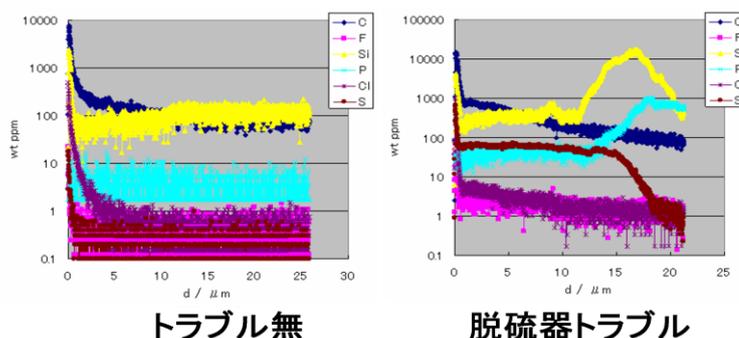


図Ⅲ-1.1-38 実証機セル空気極における不純物量と従来測定結果（スタック対象）との比較

実証研究に供された機器は耐久性・信頼性の観点からみると貴重な資料を提供している。筒状平板形では、前プロジェクトおよび本プロジェクトでは水素を燃料としスタックを対象としているので、実証研究試料の分析によって、都市ガスの燃料処理系も含めたシステム由来の特徴を掴むことが出来る。最も顕著な特徴は空気極におけるクロム蓄積量が増えていることにある。クロム源としては、システムの用いている金属材料の酸化物スケールの他に、酸化物インターコネクト中のクロムがシリカと反応して揮発した可能性も指摘できる。酸化物インターコネクト上のシリコンの堆積量は他の測定値よりも大きかったため、後者が汚染源である可能性が高い。但し、空気極としては中温形活性空気極を用いているため、トラブル率が高く空気極の性能劣化としては現出していない模様である。

円筒縦縞形の実証研究においては、たまたま脱硫機のトラブルが発生し、硫黄が混入した燃料が改質器に入り、改質触媒がダメージをうけた結果、通常とは異なる低改質率の燃料組

燃料極中の不純物元素分布



図Ⅲ-1.1-39 円筒縦縞形実証研究中の脱硫機トラブルに起因する不純物の解析

成でセルの中に入った。燃料導入部においては燃料が剥離していたが、未だ剥離していない燃料極・電解質部分を SIMS で解析し図Ⅲ-1.1-39 のような結果を得た。硫黄濃度は通常であれば 1 ppm 程度あるが、燃料極全体に 100 ppm まで均一に分布していた。燃料極・電解質界面で硫黄濃度が低いのは、性能低下のために酸化物イオンと吸着硫黄が反応し、二酸化硫黄として揮発したためと思われる。硫黄濃度が減少している領域で、シリコンとリンの濃集が認められた。両元素とも燃料極全体に数倍から 10 倍程度通常の濃度よりも高くなっているのに加え、界面領域で更にもその濃度の一桁以上濃集している。選択的に界面に濃集するとともに、硫黄のような揮発機構があまり作用していないことが推測される。いずれも、改質率が

低いために、高濃度の水蒸気あるいは還元性の強い炭化水素成分によって発生源における気相濃度が上昇したためにセル内まで運ばれる量が増えたためと思われる。

### (c) 実証研究試料の分析 (後期分)

#### i. 筒状平板形

平成 20(2008)年度に設置した 36 機の中のサイト 25 機 (大阪、6147 h)、サイト 28 機 (北海道、6259 h) の微量不純物の測定を終え、サイト 20 機についても測定を行っている。特に注目したのは、空気極のクロム堆積量でサイト 25, 28 とともに 10 ppm 前後であり、クロムによる性能低下はないと結論づけられた。燃料極では、北海道サイトが燃料由来の異なるものを用いていたので、どのような不純物が堆積するか、注意深く SIMS で観察したが、硫黄濃度が 100 ppm 程度で、前期に危険領域として定義した 100 ppm に達していることが明らかになったので、今後注視することとした。特に電中研で行っている 1 万時間以上の耐久性試験で空気極、燃料極の過電圧が上昇し始めているのが観測されているので、このスタックの試験後解体調査を慎重に行う必要がある。また、燃料極と燃料極支持体の境界領域でリンとシリコンが濃集しているのが観測されたが、他の例でも類似現象が観測されたので北海道でのガス由来によるものではなく別で原因であると推測され、その究明を行っている。また、電気化学的活性点での濃集ではないので、性能に直接影響するものではないと判断した。

#### ii. 筒状横縞形

H22(2010)年度設置機 (4070 h) と電気炉試験器との比較を空気極、燃料極近傍で FE-SEM、SIMS を用いて行い、大きな差は認められなかった。特に、リンとシリコンの濃集が燃料極と支持体との界面近傍で観測されたが、運転時間との相関はなく、初期から汚染されていたと思われる。

また、空気極側で、変色していた部分で高濃度の硫黄、リンが検出された。これらは空気中からの混入物のためと断定された。

#### iii. 小型円筒形

小型円筒形では本プロジェクト内での性能評価が後期から始まったため、各部位の詳細な分析・解析は、実証研究に供した試料で行った。

#### iv. 円筒横縞形

円筒横縞形は中・大容量定置形用なので実証研究には参画していないが、前期に行ったマイクロガスタービン ( $\mu$ GT) と SOFC とのハイブリッドシステムの運転が実機レベルの運転に対応するため、特にクロム被毒について SIMS を用いて検討した。

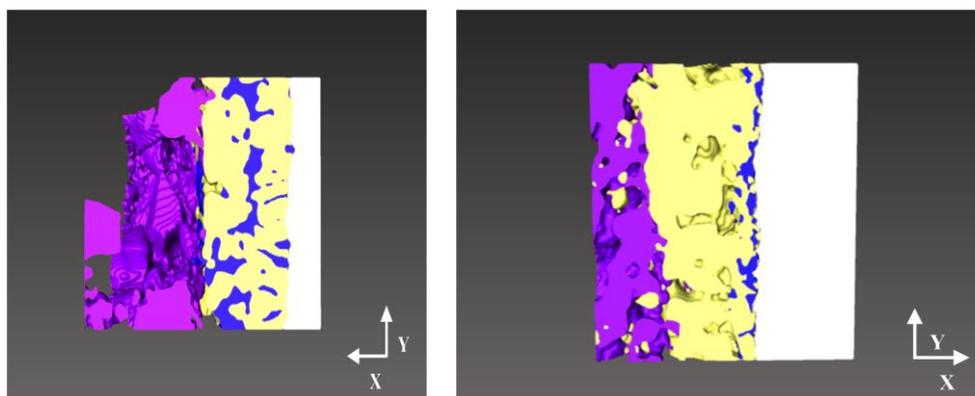
SOFC 用の空気は、熱交換後マイクロガスタービンに入った後 SOFC に送られる。マイクロガスタービンと SOFC をつなぐ配管にはクロム対策を施してないので、どの程度のクロムが堆積するかで、システムとしての健全性をクロム被毒の観点より検証できることになる。

### c. 共通課題の取り組み（前期）

各スタックで認められた劣化部位について集学的に検討し、劣化を生じさせている電極材料・電解質材料の変化の観測・解析を行い、物理化学的な総合的理解を試み、その克服策を検討してきた。以下では、材料別に関連する項目を整理して成果の意義を述べる。

#### (a) 中温筒状平板形空気極の改良と改良前後の解析

前プロジェクトにおいて中温筒状平板形の空気極構造の検討を行い、空気極と YSZ 電解質との反応防止用に挿入する希土類添加セリア層の中を Sr が拡散し、生成した SrZrO<sub>3</sub> が空気極劣化の一因となるのでは無いかとの課題抽出を行い、改善が施された。このセルでは、初期劣化はあるものの 1,000~2,000 時間以降では劣化しないことが確認された。中間層中の Sr の拡散と SrZrO<sub>3</sub> 相生成挙動を明確にするために、京大・東大グループが本プロジェクトの中で立ち上げた FIB-SEM を用いて中間層を含む空気極周辺の SEM 像を解析し、YSZ 電解質・Gd ドープセリアから SrZrO<sub>3</sub> を識別・分離することにより、SrZrO<sub>3</sub> 生成域を可視化しその三次元像を明らかにすることができた。FIB-SEM による電極構造に関する解析は数多く行われているが、このように劣化に直結する工学的に重要な反応生成物の可視化は世界的にも初めてであり、今後のさらなる適用のための基盤が構築された。



左赤：空気極；中央黄：セリア；右白：電解質；紺：反応物

図Ⅲ-1.1-40 FIB-SEM を用いた SrZrO<sub>3</sub> 生成域の可視化。改良前後の中間層を長時間稼働後に比較したもの

この手法を中間層の改良前後の長時間耐久後試料に適用することによって、上図のような違いを明らかにすることができた。更に特定された生成域近傍での元素分析を行うことによって、成膜直後の状態と運転中における SrZrO<sub>3</sub> 生成挙動との比較が可能となり、製造過程にフィードバックが出来るようになってきた。

また、このような中間層の利用は中温筒状横縞形あるいは高温円筒横縞形における空気極の改良とも密接な関係をもつ。特に中温筒状横縞形においてはほぼ類似の成膜法を採用しているため、相互比較も可能になっている。

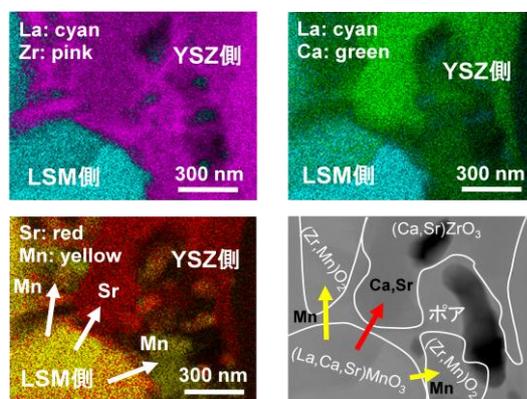
Sr の拡散経路としては、気相経路、粒界経路、表面経路が想定されるが、そのいずれが最も大きな寄与をしているかは、いまだ明確な実験的事実がない。産総研で行っている拡散対実験において、空気極ペレットと中間層ペレットに隙間がある場合とない場合とで拡散プロファイルが異なり、隙間がないと Sr ではなく La が拡散するという結果を得た。このため、Sr 拡散には気相が大きな寄与をしていることが示唆された。通常の成膜法ではセリア層が緻密に成らずポアが生成することから成膜法の重要性を示唆するものと思われる。特に、中間層の形成、空気極の成膜はセル製造段階の最後で行われるため、比較的取り得る手段が多く、

その良否を判定する材料が重要であるところに、このような  $\text{SrZrO}_3$  生成に直接関与する特徴を三次元的に明らかに出来るようになったことは、今後の中間層の改良のスピードアップに貢献するものと期待される。

### (b) 高温円筒横縞形空気極の劣化部位の解析

高温円筒横縞形の劣化挙動については前プロジェクトにおいて詳細に検討され、空気極の劣化は三相界面に濃集したクロムによる被毒では無いかと示唆された。本プロジェクトでは、さらに集学的に検討を行った。東大・京大グループによる FIB-SEM による空気極・YSZ 電解質界面での三次元像の解析においては、空気極を構成する LSM と YSZ とのコンポジット電極を個別に認識することはできなかったものの、空気極・電解質界面近傍に生成したマイクロポアを発見し、その三次元像化に成功した。東北大学におけるマイクロインデンテーションの実験ではこのように生成したマイクロポア周辺での微視的機械強度を測定し、ポア生成と機械的強度には相関が無いことを明らかにした。また、九州大学では STEM による空気極・電解質近傍での詳細な観察を行い、前プロジェクトで電中研が明らかにしていた中間層（活性層）の薄肉化、Ca の空気極から中間層の流入がどのような微視的過程で進行したのかを調べた。Ca 成分が流入してきたことにより (Ca, Sr)ZrO<sub>3</sub> 生成とともに Y 成分の LSM への移動、Mn 固溶 ZrO<sub>2</sub> の単離、ポアの生成が複合した現象であることを明らかにした。

本スタックにおいても空気極はセル・スタックの最後の工程で成膜される場所であるが、今回集学的に検討した現象の大本の原因としては、Ca 成分が意図しないにも関わらず中間層に流入していたことが挙げられる。工程管理の最適化が必ずしも良好ではなかったためと思われる。円筒横縞形では、セリア中間層の利用など種々の試みを行って空気極の改善を図っているところであるが、本プロジェクトで明らかにした現象・その原因は今後の改良に役に立つものと期待される。



図III-1.1-41 円筒横縞形空気極・電解質界面（5000 h 運転後）の詳細解析

### (c) ポア形成とその物理化学的理解

筒状平板形空気極中間層、円筒横縞形空気極・電解質界面でポアの生成、進展を観測したが、同様なポア形成は円筒横縞形酸化コネクタ材中でも観察されている。このような現象が起こる背景には陽イオンの拡散機構が場所によって異なることが想定されることから、産総研における陽イオン拡散係数の実験的検討の他に、現在東北大学においてシミュレーションを行い総合的な理解を得る方向で検討している。

### (d) ジルコニア系電解質の相変態的安定性の検討

ジルコニア（特に 8YSZ）は 1,000 度以下の高温で保持するとイオン伝導度が減少しやがて一定値に落ち着くことは良く知られており、セルの初期劣化の一つとして想定されているものである。本プロジェクトでは 4 スタックがジルコニア系の電解質を用いているので、長時間運転後の電解質の相変態についてラマン分光を用いて産総研で測定を行った。

立方晶の正方晶への相変態はいずれもニッケルサーメット電極中のジルコニアで最も顕著に観測され更に燃料極と接触する電解質表面から数マイクロン奥まで認めることができた。これらは、上述の予想と整合しない結果となった。実機ではジルコニアの相変態によるイオン伝導度の低下による性能低下はあまり大きくないのではないかと推測され、今後更に注意深くこの相変態挙動を調べることにした。

円筒縦縞形では、いずれの測定箇所でも正方晶化がはっきりと観察され、更にこのスタックでは電解質の粉化という現象も観測されていることから、粉化領域の詳細な観察を九大に依頼し、更に粉化の機構解明については産総研、東北大学、TOTO とが協力して進めているところである。

### (e) 燃料極 I（高温処理済み）

アノードの劣化挙動は大きくスタックによって分かれた。燃料極を電解質と同時に製膜するスタックでは、ほとんどニッケルの凝集は認められず劣化率も低かった。筒状平板形では、ニッケル粒子径の時間変化を観測しており、初期 5 千時間で 25% 大きくなるものの、その後の成長はなく、安定的な状態に入ったと判断される。支持体方式の円筒横縞形でも筒状横縞形でも、支持体と電解質を一体化させる工程で燃料極を製膜するため、同様な熱処理が行われ、ニッケルの凝集はほとんど起こらない。

### (f) 燃料極における予想外の Ni 凝集の観測と解析

他方、燃料極をセル製造工程の最後にするスタックでは今回大きなニッケルの凝集が認められた。図 III-1.1-42 に示した試料は、前プロジェクトで 3,000 時間運転した後に更に 3,500 時間自主運転したスタックにおける燃料極の解析結果を示す。

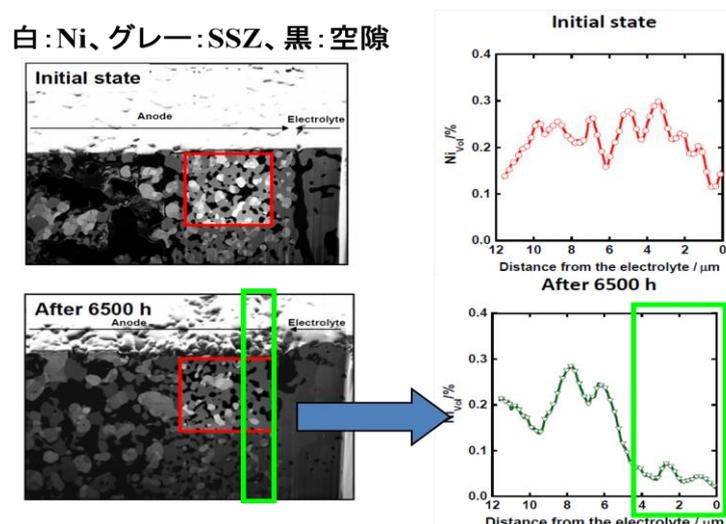


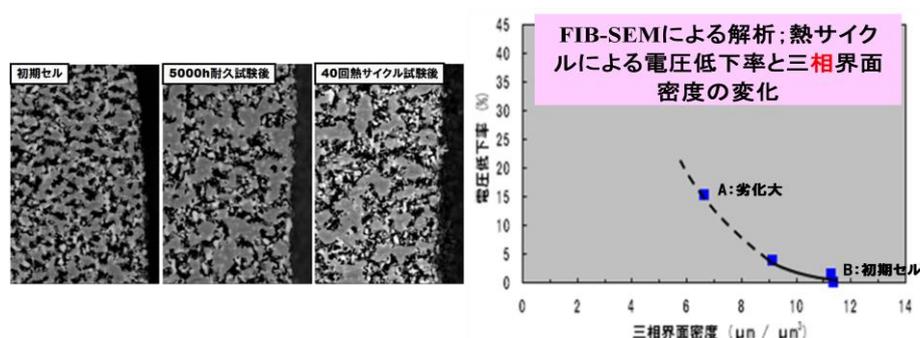
図 III-1.1-42 円筒縦縞形 6500 時間運転後試料のニッケル凝集の FIB-SEM による解析。

FIB-SEM の解析では、電解質と燃料極との界面が同じ視野に入るように調整したのち測定が行われ、ニッケルが存在する部分を分離しその分布を燃料極・電解質界面からの距離で示すと上図のようにニッケルの凝集とともに、電解質界面からの後退が認められる。この駆動力は明らかに表面エネルギーであり、表面エネルギーが変化したかあるいは拡散が促進され

たためと思われる。

更に 円形平板形においてもニッケルの凝集が顕著に観察された。

このスタックにおけるニッケルの凝集は、長期耐久試験後に観察されたばかりでなく、熱サイクル試験後に顕著なニッケルの凝集を示したことによる。上図で示したのは、顕著にニッケルが凝集している箇所を比較したものであるが、5,000時間の耐久と40回の熱サイクルとではほぼ同程度のニッケルの凝集を起こしていることが容易に見て取れる。ニッケルの凝集の駆動力は表面エネルギー、界面エネルギーなどの静的なエネルギー差であると想定されるものの、運転温度以下への熱サイクルで凝集が加速されることは、単なるバルク拡散・表面拡散などの物質移動過程の他にその原因を求めるべきであろう。図の右側に示したものは、同一スタック内にあるものの性能劣化率が異なるものを抽出して FIB-SEM 解析を行ったものであるが、性能低下とニッケルの微構造変化（図では三相界面密度を使用）が強い相関を示していることが明らかになった。このことはニッケル凝集を促す速度論的要因・平衡論的要因が同一スタック内であっても場所の依存性が強いことを示唆している。産総研が測定した



図III-1.1-43 円形平板形において観察されたニッケルの凝集。同一スタック内でも性能劣化に差が認められるが、ニッケルの形態変化と強い相関を示した。

不純物の観点からみると、このスタックは S, P などの燃料極への堆積が他のスタックよりも平均していつも多いことが指摘できる。Ni-S 系、Ni-P 系における共融点の低下による影響などが強く示唆される。

#### (g) ニッケル凝集の今後の集学的取り扱い

上述したように京大・東大グループによる FIB-SEM を用いた三次元微構造変化の解析はニッケルの凝集がどのように起こったかを把握するうえでは極めて貴重な情報を提供している。このような実機レベルでの劣化電極を複数取り扱っているグループは他の国にはないので、今後とも有力なツールとなることが期待される。

ニッケルが凝集する機構を解明するに当たって、最も有力な考えは局所平衡モデルに基づいた考察であろう。今回取り上げた現象ばかりでなく、京大・東大グループで観察している水蒸気による凝集についてもその視野に入れる必要がある。特に、ニッケルの表面エネルギー、ニッケルと酸化物との界面エネルギーについての知見は乏しく、集学的に取り組む必要が大いにある。表面・界面エネルギーの計算、硫黄などの効果などについては東北大学、九州大学現在検討を進めている。産総研においては、2 元系相平衡で現れる共融現象が、実際の燃料電池雰囲気下でどのような温度、酸素分圧、燃料組成（化学ポテンシャル）の関数として現れるかを化学ポテンシャル図の構築を行って検討している。

更に、ニッケルの凝集による効果の全体像を把握するために、実機セルのようなファインに調整された状態から、完全に焼結凝集してしまうまでの全プロセスを把握すべく、凝集モ

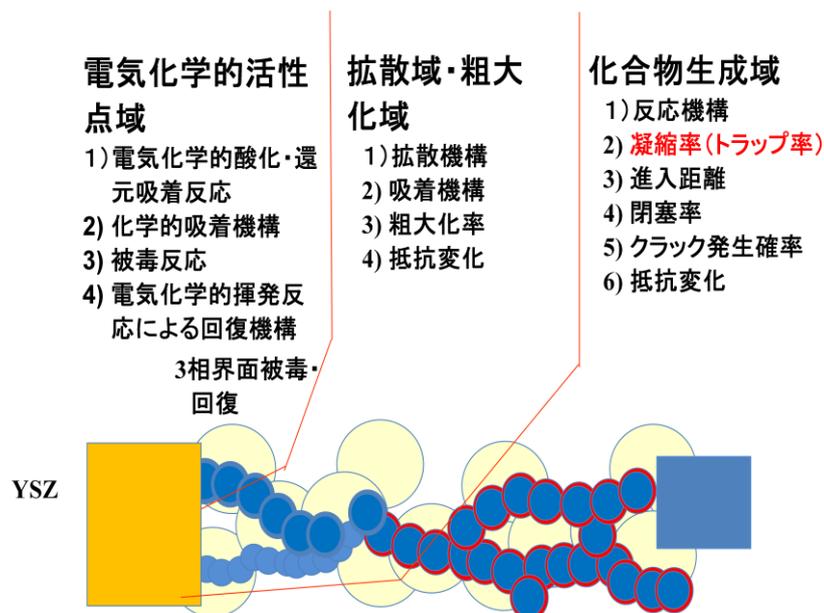
デルの構築に着手すべきものと考えている。産総研では、三次元的なサーメット電極では観察するのに多くの労力を必要とすることから、二次元化された条件下での形態観察を試みている。また、東北大学・九州大学では三次元における凝集モデルの構築に着手した。このような検討の中で、現在想定されている表面エネルギーが不純物あるいは水蒸気によってどの程度変化するののかも含めて行うことができれば、適用範囲の広いモデルが構築出来るのではないかと考えられる。

## (h) 加速劣化試験法の準備

### i. 一般化されたモデルの構築

前プロジェクトから空気極の劣化に関する現象（特にクロム被毒）の整理と劣化機構解明を行い、その成果を元にして、本プロジェクトでは、気相によって移動してくる不純物の量が性能劣化を因る一つの大きな示票になること、さらには物理化学的な電極物質と不純物との相互作用を定量化することによっていくつかの領域に分類出来ることを考察してきた。

更に、近年米国エネルギー省のプロジェクト（SECA）において、石炭ガス化ガスの利用が全面に押し出された結果、石炭ガス中に含まれる不純物のニッケル燃料極に与える影響が組織的に行われ、その結果が入手可能となったことを踏まえ、空気極で構築したモデルを燃料極も含めた一般的な物理化学的モデルとして再構築した。



図Ⅲ-1.1-44 一般化された不純物による性能劣化モデル。電極と不純物の相互作用は、化合物の生成と関連する現象、拡散などによる微構造変化 および電気化学的活性点への攻撃の3領域に分離できる。

電極と不純物との相互作用（水蒸気などの主成分との相互作用も含む）は次の3領域に分離することが出来る。

#### ① 化合物生成域

電極構成材料と不純物との相互作用が大きい場合、化合物を生成する。その反応速度が速ければ不純物気相種と電極材料が出会ったところで化合物が生成・成長し、この場所でトラップされたことになる。電極性能への影響を評価するには、トラップされないで通過する気相種の量を把握する必要がある。また、機械的性質の変化、ガスの電極層中の透過性、電極層中での電気伝導度の変化などを評価するためには、どのように生成領域が進展するかのモ

デルが必要となる。これらの様相は、温度などの関数として評価されなければならない。

関連する物性として電極構成材料の拡散が挙げられる。化合物が生成し、成長していくためには電極成分の拡散が必要で、多くの場合この成分の拡散も促進されている可能性が大きい。状態図的には、化合物生成域の隣には必ず固溶域あるいは吸着域が存在している。

## ② 拡散・焼結領域

前出のニッケルの凝集のように拡散が起こることによって、微構造が変化することが考えられる。拡散の大きさは、微量成分がどのように電極構成材料上に吸着するかに依存すると思われる。電極集電域では微構造の変化がどのように伝導度の変化に現れるかが重要となる。

空気極の場合でも凝集は起こるので、同様に拡散係数とその促進要因とが重要となろう。また、前プロジェクトでも明らかになったように **Na**、**S** などの不純物濃度が上がった場合、合金のホットコロージョンのように微量の液体が生成し、反応性・拡散性に影響を及ぼすことも十分に想定される。

## ③ 電気化学活性点域

この領域では、電極物質との相互作用があまり強くなく途中でトラップされることもなく、活性点まで到達し、且つ吸着・凝縮・析出などのよって、直接電気化学的反應過程に関与している場所を直撃して電気化学過程を遅らせてしまうものである。一般的特徴として、極少量の不純物でも活性点の性能の低下をもたらす。このため、従来検討ではこの原因物質を正確に実験的にとらえられているかが、ポイントとなる。

## ii. 加速試験を想定した取り扱い

このようなことから、電極の性能低下につながる過程としては次の 3 通りが想定される。いずれも上記 3 領域と同じ範疇になる。本プロジェクトで採用している測定手段との比較で述べる。

### ① 電気化学的活性点直撃形

1000 ppm 以下の微量成分の測定が不可欠であり、現在のところ産総研が駆使している二次イオン質量分析計 (SIMS 分析) 以外での測定では有効な情報が得にくい。前プロジェクトでクロム被毒による性能低下の疑いが濃厚となった円筒横縞形空気極・電解質界面での九大での STEM による詳細な観測においてもクロムは見いだされていない。

直撃形の例として空気極ではランタンマンガンナイト系のクロム被毒、燃料極では硫黄被毒を挙げることができる。どちらも凝集物・吸着物が電気化学過程を阻害しているものの、その原因物質を検出するには多くの困難を伴っている。相違点としては、硫黄被毒は回復過程が頻出するということが挙げられる。クロム被毒の場合はまれである。この違いの原因として電気化学的な回復過程 (揮発反応) があるかどうかを指摘できる。硫黄の場合吸着した硫黄が電気化学的に酸化されて  $\text{SO}_2$  として揮発することが出来る。

### ② 微構造変化

電気化学的活性点近傍で微構造変化がおこれば、最も敏感に性能の低下につながるものと思われる。京大・東大における電極微構造の変化は十分にこの変化をとらえているものと思われる。測定対象として必ずしも電解質・電極界面における微構造変化を直接観察しているわけではない場合もあるが、それでも観測された微構造変化と性能低下との相関が良いのは、電極全体に起こっている変化が界面近傍での変化と良く対応しているからと思われる。

### ③ 化合物生成

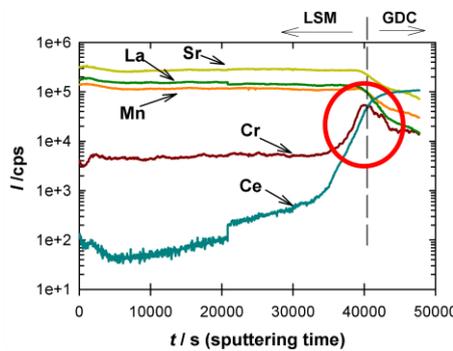
電気化学的活性点が直接不純物と反応し変質すれば性能低下につながる。この場合性能低下には少量の不純物でも起こるため、どの程度の不純物が活性点に到達するかあるいはその前にトラップされるかが極めて重要な示票となる。たとえトラップ率が 100 %に近い場合でも、少量活性点に到達すれば性能低下につながる。

以上の観点に関する本プロジェクトの成果並びに今後の展開として次のことを想定してい

る。

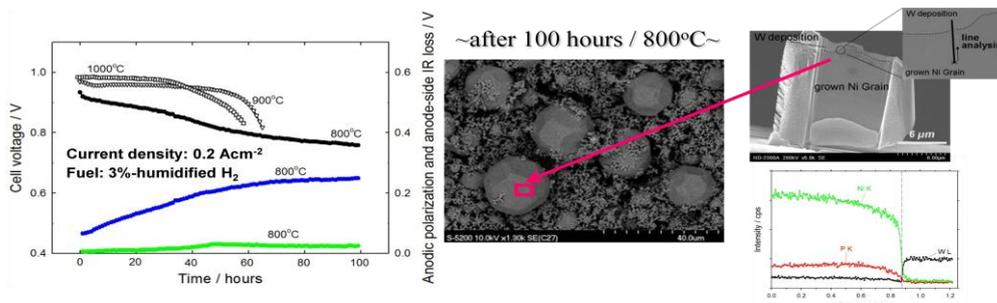
- ① クロム被毒について活性点に付着・吸着した量と性能低下との相関を明らかにし、他の活性点直撃形（たとえばニッケルに対するP）の影響評価に用いる。この目的のために、クロム被毒の定量化を円筒横縞形のスタックレベルで明確化するとともに、ボタンセル段階でも産総研によるSIMSの定量測定と性能低下との相関関係を求める。

実機セル（円筒横縞形）を用いた評価では0.8% / 10000 h程度の性能劣化を及ぼす時、三相界面に堆積したクロムの量は1万時間後に堆積層の厚さとして4 nm程度であり、三相界面近傍の測定濃度とすると1000 ppm以下であった。従って、4万時間の耐久性を議論する場合には、この程度の堆積量を制御する必要がある。他の微構造の変化による性能低下も想定されるので、更に実機を用いて堆積量と性能低下との関係を明らかにするとともに、ボタンセルを用いて、加速（クロム供給量として）条件化での堆積挙動を明確にしているところである。



図III-1.1-45 ボタンセルを用いたクロム堆積試験；導入したクロムの14 - 15%が空気極中に堆積し、その半分程度は3相界面に堆積した。

- ② 硫黄被毒については、局所平衡モデルからは燃料利用率が上がると吸着量、固容量が増加することが期待され、産総研による実機セルでの硫黄分析では燃料下流の利用率高い方が硫黄濃度が高いこともあることが認められている。このため、九州大学で行われている異なる実機セルを用いた硫黄の被毒実験においても燃料利用率の高い領域も検討対象としてその効果を明らかにする。
- ③ クロムに比し、活性点直撃形であるにも関わらず、硫黄の三相界面での濃集はSIMSによっても通常観測されない。電気化学的に酸化され二酸化硫黄として揮発するものと思われる。このような電気化学的副反応としての回復過程は工学的には重要であるので、今後もこの観点を踏まえ他の種々の不純物でのこの効果を検討する必要がある。

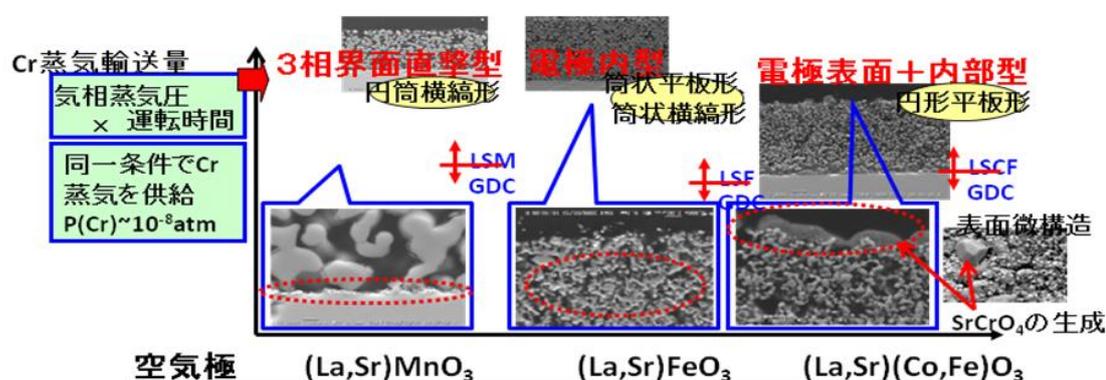


図III-1.1-46 リンによる被毒試験（九大）STEMによるNi:P=3:1であることを確認。

- ④ 化合物生成が直接影響するケースでは、共通して観測される事実として温度が低いほど性

能低下が早期に現出することが指摘できる。九大で観測されたニッケル燃料極のリンによる影響ならびに産総研で行われた (Sm, Sr) CoO<sub>3</sub> 電極の SO<sub>2</sub> による影響など同じ傾向を示している。

- ⑤ 活性点まで到達する場合には多くの場合、電極全領域で同様な現象が起きていることが想定されるので、トラップ効果が大きい領域、三相界面での選択的凝縮、並びに電極全体で生じる凝縮・吸着現象をそれぞれモデル化して、加速劣化試験に備える必要が出てきた。
- ⑥ また、トラップ領域が現出する不純物に対しては、電気化学的に作用している電極内でのトラップに限らず、ガス導入経路上にある同種材料によってトラップし除去することも可能となるため、当該材料と不純物との化学的反応過程の知見が重要となる。また、このようなトラップ域がスタック構造の中に設定されているかは実用的には極めて重要であるとの知見を得るに至った。



図III-1.1-47 異なる空気極におけるクロム堆積状況の確認。

#### (j) 石炭ガス化ガスの影響調査

一般化されたモデルが示している物理化学的展望は、そのまま石炭ガス化ガス中の不純物を扱う場合でも適用できることから、あらためて石炭ガス化ガス中の不純物の影響調査を行う方法論を再検討した結果、基本的には計画当初に保有していた認識は大きく違ってはいなかったこと、並びに前プロジェクトから本プロジェクトにかけての不純物の検討結果を踏まえ、石炭ガス化ガスグループとして再確認すべき課題として次のものが明らかになった。

- ① 石炭ガス化ガス中に含まれている不純物とセル構成材の化学的反応性はどれだけ電気化学的活性点近傍に到達する前にトラップできるかという観点から重要である。
- ② 石炭ガス化ガス中に含まれる不純物と前プロジェクト並びに本プロジェクトで測定してきた不純物とを比較すると、Na、P、S、Si、Cl等が共通である。この中で、Naの還元ガス中の化学的挙動についての考察は、固体酸化物形燃料電池分野よりも石炭ガス化分野の方が方法論的に進展していることが判明したので、同様な取り扱いをSOFC燃料極雰囲気でも適用するとどのようになるかをより明示的に検討することにした。また、リンは特に一般的な不純物としても混入してくるので、硫黄と同様その挙動を注視することとした。
- ③ ニッケルと不純物との相互作用は、単にニッケルとの金属間化合物を形成するばかりでなく、オキソ酸塩の生成、複合気相種の発生など複雑な様相を示しているので、多元系を構成する不純物として慎重な取り扱いを行うことにした。特に、簡単な水処理をただで直接導入した石炭ガス化ガスとニッケルとが強い相互作用を示し、大きなニッケルの凝集物が形成された。このような現象は、石炭の処理を変更した場合でも再現性良く現出したため、その原因を突き止めることが重要である。最も可能性があるのはNi-P系あるいはNi-S系の共融物が生成したことが想定されるが、未だその原因を特定するに至っていない。

### (k) 模擬セルを用いた加速試験法

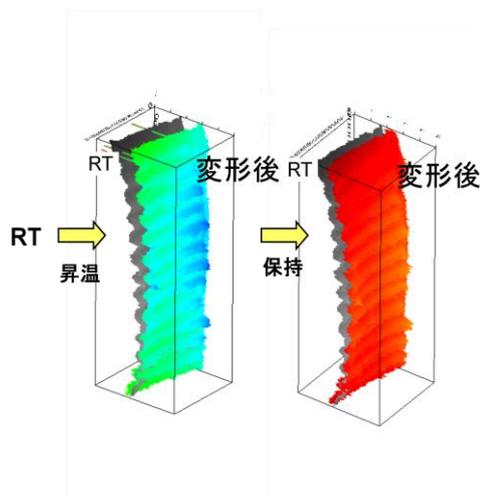
機械的な評価においては、加速要因を単一化し、単セルレベルで行うことが難しいことから、加速試験として模擬セルを用いて実機セルに近い形で評価することを行った。

一般化された不純物による劣化モデルと対応する考え方としては、同様に局所平衡近似を基礎にすることによって、

- ① 個々の材料レベルでの基礎データの取得と局所平衡近似による記述を行うこと
- ② 微構造データなどの形状データを本プロジェクト内において共有することにより、複雑形態の変形挙動を解析すること
- ③ スタックメーカーと緊密に連携し、十分に機械的解析に耐える模擬セルを構築し、その検証実験を介して評価手法を確立することなど行って来た。

このような基礎的な物性値段階から組み上げる機械的変形解析は世界的にも類例がない。

本プロジェクトにおいては、長期耐久下における組成変動の影響も考慮に入れることは想定はしてはいるものの、まず最初に、熱膨張あるいは還元膨張（温度一定下で酸素分圧の変化に伴う体積変化）を対象にして変形・応力集中などをシミュレーション手法で検討した。また、実験的には、レーザー変位計による単セルの変形観測、AEの観察による変形・亀裂などの観測を実機セル・模擬セル段階で行った。



図III-1.1-48 熱膨張と還元膨張による変形をレーザー変位計で測定し解析する。

### d. 後期における共通課題の取り組み

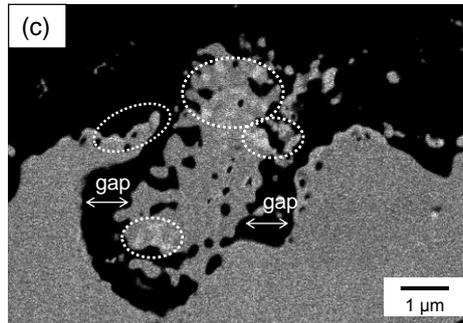
前期において製造手順と劣化部位との相関について検討し、各部位での劣化挙動について考察した。後期では、同じ考えのもとで考察をすすめたが、特に前期では陽には考察をしてこなかったスタックの運転条件（温度、電極過電圧、電流密度）の劣化に対する影響にも焦点を当てた。以下では、各部位での劣化機構解明結果を先に述べ、その後加速試験法についての検討結果を述べる。

#### (a) 電解質の劣化に対する検討

##### i. 円筒縦縞形の粉化現象について（前期成果）

円筒縦縞形は前期に検討したスタックであるが、中間評価用事業原簿に未記載であったためここで述べる。

円筒縦縞形電解質の燃料（外）側の燃料極とインターコネクト材と間の非発電部分で電解質が粉化する現象が見いだされた（図III-1.1-49参照）。産総研で詳細な分析を行うとともに九大のSTEMでも分析を行い、電解質の結晶構造が単斜晶に相変態していることが確認された。その粉化現象の機構解明のため、産総研と東北大学が相平衡・粉化現象の再現を共同で遂行した。TOTOにおける他の物質の影響調査ならびに産総研におけるボタンセルを用いた再現実験の成功により、本現象がジルコニアドーパント（YあるいはSc）-酸化マンガンの3元系の相平衡の問題とともに析出相の核形成に関する速度論的効果が重なったものであることが明らかになった。円筒縦縞形は空気極支持セルであるため、製造時に空気極・電解質界面は最高温度に曝され酸化マンガンが電解質に固溶する量が多くなる。運転温度では空気極側では酸化マンガンの固溶限が減少するのに対し燃料極側では2価のマンガン酸化物が固溶するために固溶限がやや大きくなるのが産総研の状態図計算より明らかになった。産総研の再現実験は電解質膜厚を極力薄くし酸素ポテンシャル勾配が電解質中で急峻に生ずるように工



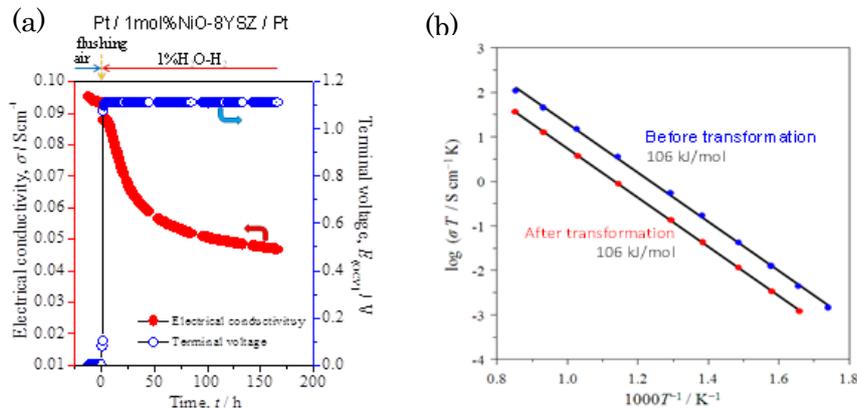
図III-1.1-49 マンガンが固溶した YSZ 電解質（非発電部）の粉化現象

夫してから同様な現象を再現できるようになり、特に還元側で酸化マンガンの中で  $Mn_3O_4$  が析出していることが判明した。この相は高酸素分圧領域でのみ安定な酸化物であるため、燃料室側が高酸素分圧側に偏倚していることが示唆された。TOTO では電解質中の酸素ポテンシャル分布を電子伝導度とイオン伝導度より計算で導出し、酸化マンガン固溶によるホール伝導度増大によって高酸素分圧領域が還元側まで拡張する効果があること、およびシリカなどの燃料極側の不純物堆積によって更に高酸素分圧領域が拡大するとともに  $MnSiO_3$  などが核形成の核を提供することが示唆された。 $MnSiO_3$  中のマンガンは 2 価なので、還元側で析出するため、酸素ポテンシャル勾配があるときにはシリカが不純物として存在し、かつ、還元域と酸化域の中間領域で  $Mn_3O_4$  が析出する。一度、 $Mn_3O_4$  が析出すると  $ZrO_2$  相との 2 相共存域が現出する。 $Mn_3O_4$  相が還元雰囲気曝されると  $MnO$  に還元され膨張することから、この 2 相共存域の  $MnO$  並びに  $ZrO_2$  リッチ相は（一部単斜相に変態し）粉化してこぼれ落ちるとともに、新たに  $Mn_3O_4$  の緻密層が出現して高酸素ポテンシャル域を出現させ、さらに  $Mn_3O_4$  相と  $ZrO_2$  リッチ相への 2 相分離が進行する機構が働くものと思われる。

## ii. 筒状平板形、筒状横縞形 YSZ 電解質の相変態に起因する伝導度低下について

前期において観測されたジルコニア系電解質の相変態についての理解が後期において大幅に進展した。産総研において特にアノード支持形を想定して調整した 1%酸化ニッケル固溶 8YSZ を種々の条件下で電気伝導度を調べるとともにラマン分光を用いて YSZ の立方晶から正方晶への相変態を調べその相関を調べた。YSZ 電解質の伝導度を燃料と空気の両雰囲気下で測定すると、図III-1.1-50(a)のように OCV 下に保持すると、伝導度は時間とともに低下しやがて一定値に漸近する。このときの初期伝導度と漸近値とを図(b)に示す。両者とも活性化エネルギーは同程度であった。測定後のラマン分光から正方晶化している領域を図III-1.1-51(a)のように可視化することができるが、この領域は別に測定された電子・ホール・イオン伝導度から計算された YSZ 電解質内の酸素ポテンシャル分布（特に NiO の還元域）と非常に良く対応する。二雰囲気下での YSZ イオン伝導度の測定を種々の測定条件で行うと、異なる伝導度低下挙動が得られるが正方晶域も変化することがわかった。電極過電圧と伝導度データから酸素ポテンシャル分布を計算評価することができるので比較すると、常に正方晶域と NiO の還元領域とが一致することを見いだした。このことから、正方晶化は蛍石型結晶構造中の NiO が Ni 金属に還元される過程で加速されることがわかる。

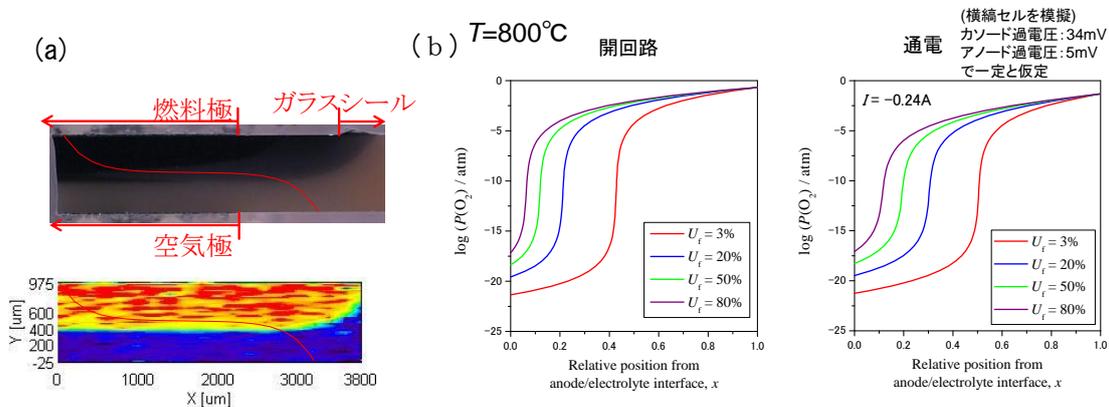
通常 NiO は YSZ 結晶粒中では還元されず粒界まで拡散してから還元される。この時、還元時に生成する陽イオン空孔は一部ポア生成に消費されるが残りは粒内へ拡散する。これより、立方晶から正方晶への相変態には陽イオンの拡散が伴い、NiO が固溶している場合には、Ni 金属生成に伴って生成する過剰に生成された陽イオン空孔が相変態を促進するものであることがわかった。このため、空気極・燃料極の過電圧と運転温度がわかれば、電解質内部での酸素ポテンシャル分布が評価でき、どの領域で NiO の還元が起こるかを知らることができるの



図III-1.1-50 (a) 1%NiO 添加 8YSZ の発電条件下での電解質伝導度変化 (b) 変化前後での伝導度の比較

で、正方晶に伴うイオン伝導度の低下率を定量的に評価できるようになった。図III-1.1-51 (b) には、筒状横縞形を想定した時の開回路時および通電時（電極過電圧は燃料利用率などに依存しないと仮定）の酸素ポテンシャル分布を示す。燃料利用率が高いほど、NiO 還元域（正方晶化促進域）は狭くなるが、電流を流すとやや広がることがわかる。図示はしていないが、温度が低下するほど、同じく NiO 還元域が狭くなる傾向を示す。

電中研で行われた性能評価では空気極・燃料極の過電圧値が評価されているので、正方晶化によるイオン伝導度低下を評価し、抵抗成分の増加における電解質の寄与を算出する予定である。産総研で観測したラマン分光による正方晶化域は筒状平板形と筒状横縞形で若干の挙動に違いが認められるが、その違いがどこからくるのか（製造過程の違いかあるいは運転条件の違い、さらにはスタック構造の違いか）などを今後検討する予定である。



図III-1.1-51 (a) 発電下で生じた電解質黒化とラマン分光による正方晶領域の可視化、(b) 発電条件から推測される酸素ポテンシャル分布

### iii. 小型円筒形ランタンガレート系電解質

電中研の性能評価によって、OCV 条件下での測定でネルンスト電位と測定電位との差が認められた。ランタンガレート系電解質中での酸素透過による影響と思われる。前期参画スタックである円形平板形が用いていたコバルト添加ランタンガレート (LSGMC) 電解質の偏倚挙動とはやや異なっている。円形平板形では OCV の電位の高い領域でのみ偏倚が観測されたのに対し、小型円筒形ではより広い電位領域での偏倚が観測された。

ランタンガレート系電解質 (La, Sr) (Ga, Mg)  $\text{O}_{3-d}$  では YSZ などと比較するとホール伝導度がやや高いために酸素透過・電位降下がおこるが、コバルトが更に添加されると、ホール伝導

度が更に上がるため、酸素ポテンシャル分布としては、高酸素分圧域が幅広く広がり、還元側で急峻な酸素ポテンシャル分布が現れる。

小型円筒形で円形平板形よりも偏倚が強く表れる原因として、円形平板形は電解質支持型であり小型円筒形は燃料極支持型であることから、空気極材料中の遷移金属の固溶、燃料極からの固溶、膜厚の違いなどが想定される。またセリア系中間層の影響も考えられる。温度依存性も合わせて、今後詳細に検討する予定である。

#### iv. 電解質の長期信頼性に対する示唆

上記 3 例に前期で考察した円形平板形の端部における応力集中を合わせて考察すると、電解質の長期安定性に関する重要な示唆が得られる。

- ① セル端部（特に電極を塗布していない部分と電極塗布分との境界）には発電部とは異なる酸素ポテンシャル分布が現出している。
- ② 運転条件によって大きく酸素ポテンシャル分布が異なる。特に、温度、燃料利用率、電流密度など頻繁に変化する場合には、それに応じて酸素ポテンシャルが大きく酸化側と還元側で振れることが予想される。
- ③ 長期運転中に電極過電圧が増加すると、それに応じて酸素ポテンシャル分布も変化する。YSZ 系では、例えば、空気極過電圧が大きくなると、還元域が増大する傾向がある。
- ④ 電解質中に原子価が変化し得る遷移金属イオンあるいはセリウムイオンが含まれていると酸素ポテンシャルの変動に伴い、体積変化を起こす。

以上のことを念頭において、本プロジェクトで見いだされた事を更に考察する。

円筒縦縞形で観測された粉化の機構は ScSZ でも YSZ でも同じように働くことが認められる。本プロジェクトの中では発電部（燃料極直下）での  $Mn_3O_4$  析出・粉化現象は観測されなかったが、ユーリッヒ研究所においては興味深い現象を観測した。アノード支持セルにランタンマンガンナイト系電極を塗布したセルの長期試験において、16,000 時間後に急激な性能低下を観測し、解体調査したところ、発電部電解質膜中の中央付近において製造時に粒界から固溶した酸化マンガンが再び析出したことによってクラックが発生したことを報告している。本プロジェクトで見いだした機構から類推すると、不純物のシリカが粒界に濃集し  $Mn_3O_4$  の析出用の核として  $MnSiO_3$  を形成した後、徐々に  $Mn_3O_4$  が粒界に成長したことが伺われる。クラック発生は性能劣化による空気極過電圧が大きくなったために  $Mn_3O_4$  が析出していた領域における酸素ポテンシャルが低下し、 $MnO$  が析出し、体積膨張を起こしたためと思われる。

以上のことから、マンガンナイト系空気極を用いるときには極力酸化マンガンの固溶を抑えるとともに、シリカなどの不純物の混入を防ぐことが望ましいことが明らかになった。円筒横縞形でも空気極としてマンガンナイト系を用いているので考察が必要であろう。セリア中間層を挿入することによって大幅な過電圧の減少とクロム被毒の低下を達成したが、YSZ 相へのマンガン酸化物の固溶が少ないことから、ユーリッヒ研究所が見いだしたようなクラック発生までにはさらに長い期間がかかることになり、より長寿命を実現しやすくなっている。

アノード支持セルで固溶している NiO についても、酸素ポテンシャル分布に起因する酸化還元の効果が見れるものと考えられる。正方晶化領域が NiO 還元域とほぼ一致するために、電解質中において明確に立方晶領域と正方晶領域の境界が規定できる。立方晶と正方晶では、体積・熱膨張係数などが若干異なるので、電解質中に応力が発生する機構が新たに生じたといえよう。更に、燃料極側粒界上に析出した金属ニッケルが、酸化された場合には体積膨張を起こすのでやはり機械的な損傷を受ける可能性がある。燃料極の Redox 挙動に対応する変化が電解質で生じることになる。どの程度の危険性をはらんでいるかは、ニッケル金属の粒径などに依存しよう。

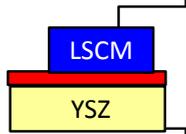
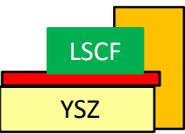
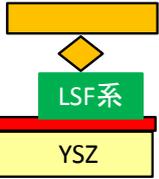
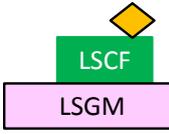
酸化マンガンでもニッケルでも、粒成長するときには陽イオン拡散あるいは金属原子の拡散が支配要因となるため、非常に遅い変化であるのに対し、酸化還元に伴う変化は酸化物イオン+電子（ホール）が支配要因であるため早い。このため、酸化還元にもなう応力発生を緩和する時間的余裕ができずにクラックの発生にいたると思われる。拡散による化学変化

が機械的安定性に影響を与える一つの例に該当すると思われる。

### (b) 空気極に関する検討

後期参画しているスタックは、燃料極支持 2 スタック（筒状平板形、小型円筒形）と支持体支持 2 スタック（筒状横縞形、円筒横縞形）であり、どのスタックでも空気極が最後に成膜される。前期で見いだした製造手順と劣化との相関からすると、空気極が最も重要な部位と見なされるので、後期においては空気極の挙動について特に集学的に検討することとした。各スタックの空気極の特徴はすでに表Ⅲ-1.1-30 に示す。産総研で測定した不純物は、表Ⅲ-1.1-31 に示し、京大・東大で測定した FIB-SEM 像を表Ⅲ-1.1-32 に比較して示す。

表 Ⅲ-1.1-30 空気極の比較

	円筒横縞形 (三菱重工業)	筒状横縞形 (東京ガス)	筒状平板形 (京セラ)	小型円筒形 (TOTO)
稼働温度	900°C	775-800 °C	750°C	650°C
電流密度	150	240	200	201
セリア層	有り	有り	有り	無し
他材料	酸化物IC	酸化物IC	酸化物IC+ 金属IC	金属IC
 Cr含有材料				
電中研による性能評価のまとめ(2012. 6現在)				
空気極過電圧・劣化率	4-10mV 0%	31-36mV 0.08%	30-40 mV 0.03-0.08%	84-95 mV 0.3-1.1%
抵抗値・劣化率	47-69mV 0%	176-195mV 0.35%	90 mV 0.22-0.48%	97 mV 0%

表Ⅲ-1.1-15 より空気極性能と劣化挙動について次のような興味深い傾向が認められる。

- ① 最も高温で作動する円筒横縞形の空気極の過電圧が最も小さく且つ劣化率も小さい。
- ② 中温の筒状平板形、筒状横縞形では過電圧はある程度大きいものの劣化率は小さい。
- ③ 作動温度が最も低い小型円筒形の空気極過電圧は大きく、劣化率も大きい。

このことから、温度の効果が大きいことがまず最初に指摘できる。また、円筒横縞形の改良以前のセルでは過電圧が大きく、劣化率も大きかったことから、過電圧の大小も劣化率に大きく関与していることがわかる。

同一スタック内での温度の影響は、スタック毎に大きく異なっている。円筒横縞形では、改良セルの性能劣化は低温ほど酷いが、筒状平板形では高温ほど劣化が大きい。これは、劣化部位が円筒横縞形では空気極、筒状平板形では抵抗成分であるためと思われる。

表III-1.1-31 各スタック空気極で観測された不純物濃度

	円筒横縞形 (三菱重工業)	筒状横縞形 (東京ガス)	筒状平板形 (京セラ)	小型円筒形 (TOTO)
金属元素	MGT 3000 h 	2010 5000 h 	08サイト(25)大阪 	0仕様FT 3800 h 
非金属元素				
不純物濃集の特徴	1) 実証機Cr濃集なし 2) 硫黄汚染無し	1) 硫黄濃度やや高い	1) 実証機でややCr濃度高い(10ppm)	1) 界面にCr 2) 硫黄濃度初期より大
劣化との関連	1) Cr源ありでも劣化無=>抑制機構	1) 実証機で一部P,S,Cl汚染	1) Cr活性点での濃集は少ない	CrとSによる被毒の疑い

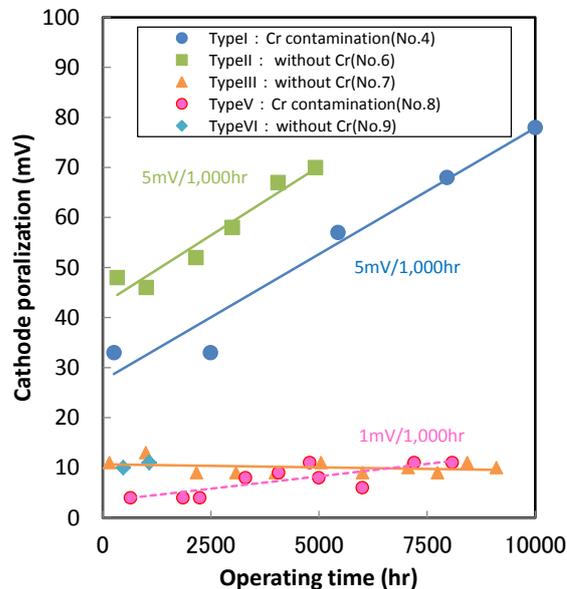
表III-1.1-32 FIB-SEMで観測した微構造変化の比較

	円筒横縞形 (三菱重工業)	筒状横縞形 (東京ガス)	筒状平板形 (京セラ)	小型円筒形 (TOTO)
界面近傍	Type 1 前期成果 	24h試料 	改良後(前期成果) 	
特徴	1) LSM/YSZ界面でのpore生成	1) セリア層中のSrZrO <sub>3</sub> 生成; 場所の依存性が強い	1) セリア層中のSrZrO <sub>3</sub> 生成挙動は改良前後で異なる	1) 界面近傍にAgの濃集 2) 界面でのPore生成; 孤立領域は狭い
劣化との関連	1) 初期性能向上		温度加速の効果 SrZrO <sub>3</sub> の生成域と成長モデル	

i. 電極の劣化と過電圧（円筒横縞形）

円筒横縞形では、前プロジェクトからの経緯から、空気極を改良してセリア中間層を挿入すると同時に実験装置内に空気導入管としてクロム発生源となる合金製を用いるかクロムを含有していないセラミックス製をもちいるか、使い分けて性能評価をしてきた。空気極の過電圧を分離解析した結果を図Ⅲ-1.1-52に示す。図中 Type I から VI の説明は表Ⅲ-1.1-21（ページⅢ 29）に与えられている。セリア中間層のない Type I では過電圧は大きく、劣化も激しい。この劣化には微構造変化による効果とクロム被毒とが関与している。セリア中間層がある場合には、過電圧が非常に小さく、なおかつ劣化が極めて小さい。Type VI のクロム源ありの耐久性試験後のクロム濃集の測定がまだ SIMS を用いて行われていないが、界面に濃集していた Type I とは異なる予想される。

LSM 系空気極の場合は、三相界面近傍に酸素ポテンシャル勾配を生じさせる過電圧がクロム被毒の駆動力であることは良く議論されているところである。従って、今回のように過電圧が著しく低下した系ではクロム被毒効果が強く表れないということはこの従来の理解と良く整合する結果である。



図Ⅲ-1.1-52 円筒横縞形空気極の過電圧とその時間変化

ii. 電極劣化と温度効果（円筒横縞形、小型円筒形）

低温ほど劣化が大きい原因の一つに、ホットコロージョンなどで知られる不純物として存在するアルカリ塩の効果は想定される。アルカリ塩は一般的には、低温で固体を、中温で液体を生成し、高温で揮発する傾向を示す。但し、液化する温度領域は塩の組成に強く依存する。例えば、ナトリウム硫酸塩・クロム酸塩・塩化物の系では、塩化物の濃度が高いほど低温で共融体を生成する。円筒横縞形の改良セル（セリア中間層を挿入した空気極）では、セリア層に生成する  $\text{CaMnO}_3$  系の生成物分布が低温ほど連続した層状となりその厚みを増す。円筒横縞形では Na, Si 以外に目立った不純物の汚染はないので、慎重にその化学的原因を検討する必要がある。最もあり得る機構として Na-Si-O 系で液体が生成し、空気極成分の焼結特性を促進している可能性がある。

小型円筒形の空気極の過電圧が高く、かつ劣化率が大きいことの原因が明確に解明されたわけではないが、最も妥当と思われる解釈は、硫黄あるいはクロムによる被毒である。SIMS で測定した初期セルでは硫黄が電極層内で比較的一定濃度で分布しているため、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{K}_2\text{SO}_4$

などのアルカリ硫酸塩として空気極表面に分布していたために、初期過電圧も高く、劣化率も大きくなったと思われる。クロム被毒については次項で考察する。

### iii. クロム被毒 (共通的理解)

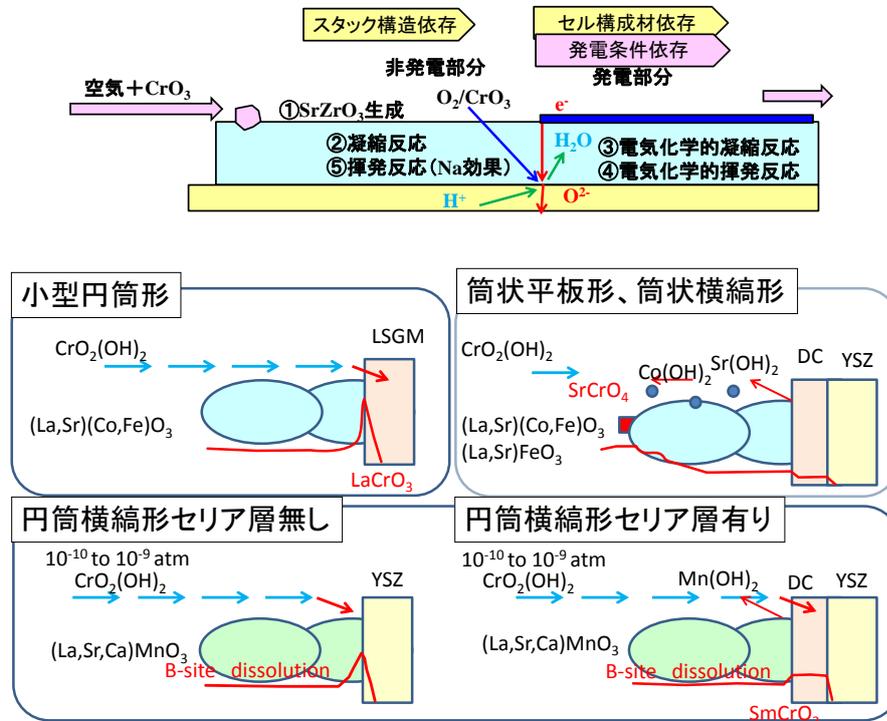
被毒の観点からはクロム濃度が重要となる。低温作動の小型円筒形では、九大の STEM、産総研の FESEM によりクロムの凝集する領域が空気極層内に点状に分布するのに加え、電解質結晶粒表面に現れ  $\text{LaCrO}_3$  の生成を示唆している。これは、SIMS による Cr の界面濃集の観察結果と良く整合する。他方、筒状平板形・筒状横縞形では同様な活性空気極を用いているにもかかわらず、クロム被毒効果は小さい。

特に空気極にとってクロム被毒が重要であるので、次のように異なる空気極に対しても前期で一般化した劣化モデルを基礎にしてさらにカソード活性点からのプロトンの発生を考慮した機構 (後述する一般化されたモデル) を想定して、元素による各機構の相違という立場で、理解することとした。具体的には次の通りである。

LSCF、LSF 系空気極では、 $\text{SrCrO}_4$  が生成するが、多くの場合空気極の表面層に生成し、電気化学的反応場まで到達する現象は本プロジェクトスタックではほとんど観測されていない。この原因として  $\text{SrCrO}_4$  生成によるトラップ効果が大きいことに加え、更にカソード反応の一部 ( $10^{-5}$  から  $10^{-3}$  程度) としてセリア中のプロトンが酸化し水蒸気を発生する反応が進行し、水蒸気とともに  $\text{Sr}(\text{OH})_2$  蒸気が発生するために、空気極表層まで気相を拡散して Cr 含有蒸気と反応する効果も大きいと判断するようになった。

他方、ランタンマンガン系空気極では  $\text{SrO}$  の熱力学的活量が小さく反応性が小さいため、 $\text{Sr}(\text{OH})_2$  は発生せず、 $\text{Mn}(\text{OH})_2$  あるいは凝集していた  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  が  $\text{CrO}_2(\text{OH})_2$  として揮発する機構が優位になるとと思われる。

Sr 成分を含まない  $\text{La}(\text{Ni}, \text{Fe})\text{O}_3$  空気極が  $\text{SrCrO}_4$  生成反応の役割に関連して注目されているが、Twente 大学の研究では、セリア中間層のドーパントとクロム含有気相種が反応して  $\text{GdCrO}_3$



図III-1.1-53 (a) クロム被毒を例にした一般化された被毒モデルの5過程  
(b) LSCF系空気極とLSM系空気極におけるクロム堆積箇所とセリア中間層の水蒸気、金属水酸化物蒸気発生への役割

が生成する事を報告している。この現象は本プロジェクトで見いだされた円筒横縞形 LSCM 系空気極にセリア中間層を使用したときに、クロム濃集が空気極中よりもセリア層中の方がやや高いことと相関していると思われる。

また小型円筒形の空気極と LSGM 電解質の界面で  $\text{LaCrO}_3$  の生成が FESEM、STEM の観測で示唆されたが、LSGM 電解質からの水蒸気の発生が少ないこともあって、クロム含有気相種が電極奥深くまで進入して反応したものと思われる。

以上のような考察から、クロム被毒を決めている要因は

- ① 不純物濃度ならびに気体の流速。電極内部に輸送されるクロムの量。
- ② 熱力学的な反応の駆動力。 $\text{SrCrO}_4$  生成の場合は、トラップ効果が高いので、上記クロム輸送量が減じられて、電気化学的反応場にいたる。
- ③ 電流密度に依存した水蒸気発生と関連する金属水酸化物蒸気の発生。

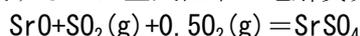
このようにクロム被毒の様相が複雑なことから、クロム量を増大して行う(行ってきた)加速劣化試験結果をそのまま定量的に低クロム濃度まで外挿するのは危険であることが判明した。(b)

#### iv. 硫黄被毒

最も興味深いのは硫黄濃度である。900 °C で作動する円筒横縞形では 10 ppm 以下であるのに対し、650 °C で作動する小型円筒形では 1000 ppm 以上と著しく高い。筒状平板形・筒状横縞形では 100 ppm 程度観測された。この値は産総研つくばで LSCF 電極を空气中 800 °C で運転した時の(空気あるいは実験系からの)汚染とほぼ同程度である。

実証研究などで空気極が硫黄に汚染されていることが観測されたため産総研で  $\text{SO}_2$  の被毒試験が前期に引き続き行われた。その結果、興味深い現象として次のことが見いだされた。空気を用いた実験においても硫黄の汚染が空気極内で観測された。空气中の汚染  $\text{SO}_2$  あるいは、空気導入経路からの汚染と思われる。ただし、このレベルでは、性能の低下までは観測されなかった。

硫黄が凝集するのは空気極中の電解質界面に近いところであり、



の反応から予想される高酸素分圧領域ではなく、電極過電圧のために酸素分圧が下がっている領域である。このことを説明するには、電気化学的酸素の還元反応に伴う解離酸素原子が反応に関与しやすいところであるため、更には空孔が上記反応の活性サイトとして寄与することができるためと思われる。

クロム被毒と比較して空気極の硫黄被毒は水蒸気の影響はあまり受けず、SrO 活量の影響を大きく受けるとともに、反応サイト依存が強いことから上式を進行させるための解離酸素原子が大きな決定要因になっていると思われる。このように考察することでクロム被毒と硫黄被毒を相互に矛盾なく説明できるとと思われる。

#### v. 微構造変化に伴う電極性能変化予測

小型円筒形における Ag の濃集が電極性能に与える影響について 3D 再構築微構造と電極反応モデルを結合することによってシミュレーションした。実測されたように Ag が局所的に凝集している場合には、電極性能への影響はほとんどないことが明らかになったので、極限条件として Ag が電極・電解質界面に全面的に濃集した場合についての電極性能を予測した。今回の解析では Ag が電子伝導体としてのみ寄与することを仮定して取り扱ったが、Ag の電気化学的性質も考慮することにより予測性能は向上すると思われる。

この系では加速劣化試験とは直接関係はないが、微構造の変化が一定程度現れている状態でどの程度の性能低下があるかを見積もることは、加速劣化法あるいは更なる高度な予測技術にとって重要となると思われる。

#### vi. 抵抗成分の定量的把握

前期において FIB-SEM 解析技術がセリア系中間層と YSZ 電解質の界面近傍で生成する  $\text{SrZrO}_3$  が明確に解析できることが明らかになった。

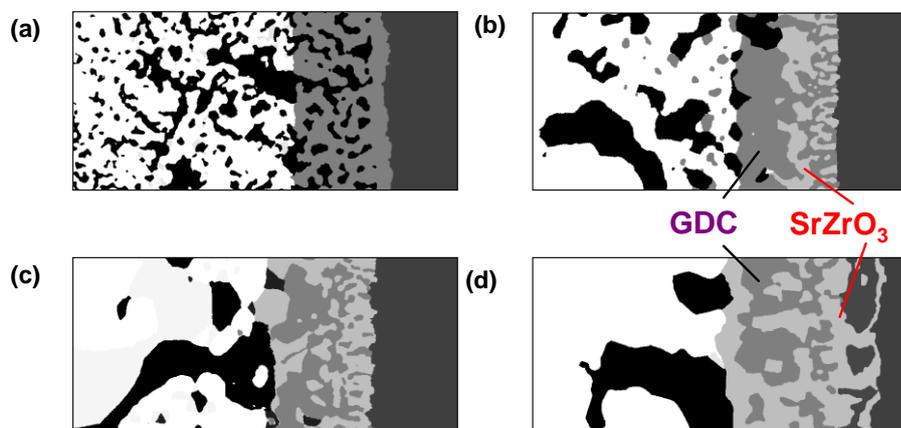
後期課題の中で、1000 °C 温度加速した試料の  $\text{SrZrO}_3$  生成域の解析を京大・東大の FIB-SEM

を用いて観測した。その結果、セリア中間層全体に  $\text{SrZrO}_3$  が生成しており、明らかに Sr のみが拡散しているというよりも Sr と Zr の双方が拡散していることが判明した(図Ⅲ-1.1-54 参照)。また、産総研の PLD で製膜したセリアを用いた拡散実験では、1200 °C と 1100 °C では、Sr と Zr との拡散挙動が異なることが見いだされた。また九大では、2000 時間 800 °C で運転させた空気極の  $\text{SrZrO}_3$  生成域を STEM で観察するとともに電子線回折による結晶方位の測定も行うことによって層状に分布している  $\text{SrZrO}_3$  相とセリアリッチ相が同じ結晶方位をもっていることを見いだした(図Ⅲ-1.1-20 参照)。また、この二相共存結晶と隣り合うやや大きなセリアも同じ結晶方位をもつことから、考えられる拡散過程としては、セリア中を Sr がバルク拡散し、Zr 濃度の高いところで、 $\text{SrZrO}_3$  とセリア二相共存領域が生成するものとおもわれる。Zr がセリア中へ拡散するためには、SrO あるいは  $\text{SrZrO}_3$  などが存在することによって拡散が促進する機構が必要となる。

これらのことより、セリア膜中の Sr、Zr の拡散挙動は複雑であり次のように数段階に分れて進行するが、それぞれの段階を支配する要因の温度依存性が異なることが強く示唆された。

- ① 第 1 期：高温で調整されたセリア中間層と YSZ 電解質膜の界面ではセリアとジルコニアが相互固溶をする。LSCF などの活性空気極を成膜する段階あるいは運転温度での通電開始初期には、セリア層中を Sr が拡散してきて、ジルコニアが存在する領域で  $\text{SrZrO}_3$  とセリアリッチ相の層状構造を生成する。改良後の  $\text{SrZrO}_3$  生成域はこの段階に対応するものと思われる。
- ②  $\text{SrZrO}_3$ - $\text{CeO}_2$  二相領域は、第 1 段階では、Sr の拡散パスになっていると思われる。つまり、 $\text{SrZrO}_3$  が生成し始めさらに生成量が多くなるためには、Sr が二相共存域を拡散し Zr-リッチ領域に到達する必要がある。一方で、成膜時の微構造の違いあるいは温度の効果で、同じ二相界面領域を Zr が逆方向に拡散できる条件が現れる。二相界面から粒界に Zr が達すると、粒界に沿って(あるいは多孔体であれば表面に沿って) Zr が拡散する過程で空気極から拡散してくる Sr と出会い、粒界(表面)に沿って  $\text{SrZrO}_3$  が生成している。これを第 2 段階と呼ぶことができる。この Zr が拡散することによる  $\text{SrZrO}_3$  相は、比較的大きな結晶粒に成長することができ、空孔もうめることができる。二相共存域とは異なる化合物の配列構造をとる。

Sample	No. 1	No. 2	No. 3	No.4
熱処理	0 h	500 h	1000 h	2000 h
温度	1000°C	1000°C	1000°C	1000°C



図Ⅲ-1.1-54 1000 °C で加速劣化させた筒状平板形試料の FIB-SEM 像

③ このような SrZrO<sub>3</sub> 生成領域がセリア層全体に及ぶと、次に電解質の内部にも Sr が粒界拡散して SrZrO<sub>3</sub> を生成する。この時期を第3段階と呼ぶことができる。

京セラが行った 1000 °C 熱加速 0 h では第1段階（生成量はほとんどゼロ）、500 h、1000 h では第2段階、2000 h では第3段階に対応する。一方、筒状平板形の改良後（図III-1.1-4 参照）は依然として第1段階にとどまるものの、改良前セルでは第2段階に達している。

産総研が行った PLD 膜での拡散実験では 1100 °C よりも 1200 °C の方が PLD 膜での拡散実験なく中の Zr 拡散が Sr 拡散よりも優位になるため、Zr と Sr とでは Zr 拡散の方が活性化エネルギーが高いことが示唆される。

以上のような考察から、SrZrO<sub>3</sub> 生成による長期耐久性の評価には、第1段階から第2段階への移行がどのような因子に左右されて進行するのかを把握することが最も重要であると思われる。

京大・東大では、FIB-SEM 解析によって取得した 3 次元微構造データを詳細に分析し、導電パスを支配する屈曲度パラメータなどの数値情報の比較とともに、伝導度の直接的な解析を行いどのパス上でポテンシャルの低下が起きているかなどを詳細に分析し、相互の微構造変化に対応する伝導度を評価するとともに、実測値と比較している。

このような解析は、事前に仮定していた抵抗増大に関する描像を検証することができる。すなわち伝導度の小さい SrZrO<sub>3</sub> が生成することで抵抗の増大を招くため、Sr の輸送量（あるいは SrZrO<sub>3</sub> の生成に関与する Sr 量）で整理すれば、強い相関がとれるはずであるという仮説を、単なる実験値による検証ばかりでなく、微構造の変化としても、検証することができるために、加速劣化法の基盤からの検証にもなっている。

更に各段階における拡散種の特定と拡散係数の確定ができれば、途中まで生じた微構造変化がその後、どのようなパターンで発展していくかなど更なる高度な予測法に結びつけることができるであろう。

### (c) 燃料極に関する検討

#### i. ニッケルの凝集

前期での検討スタックも合わせ、参画スタックのすべてのニッケルサーメット電極の耐久後の微構造を京大・東大が FIB-SEM で詳細に検討した。その結果次のような 3 グループに分類することができた。

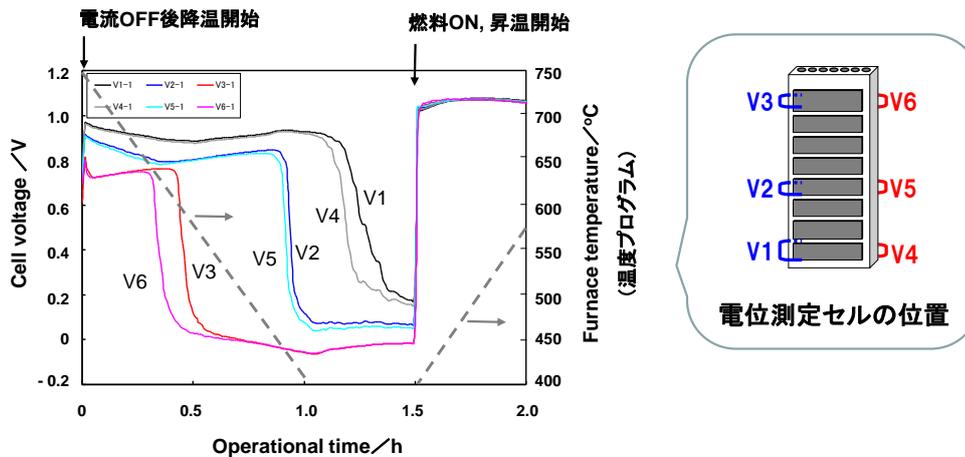
- ① 微構造変化は認められるも、性能変化を示さない。
- ② 微構造変化と性能変化が相関する
- ③ 微構造が大きく乱れ、致命的な損傷を受ける。

これらは、ニッケルの凝集による劣化の 3 段階を表しており、ステージ 1) にある燃料極もある限界値を超えると、劣化し始めると予想される。従って、どのように凝集が進展し、どのような微構造状態になった時に、性能低下をはじめかを見極めることが長期安定性には重要である。

このような限界値あるいは限界を与える特性値を明らかにしていくためには、得られた 3 次元微構造データから予測される電極性能がどの程度現実の電極の性能を再現できているか、性能の違いをもたらすものがどのような構造的特徴であるかを解析する必要がある。現在、東大・京大で進められている電極性能予測はその一歩であり、着実に進展させる必要がある。

#### ii. ニッケルサーメット電極の塑性変形

東北大学では、セルの機械的性質の測定・収集・評価から、セルの応力解析を行って実機レベルでの比較を行い、前期では円形平板形の機械的安定性の評価を行った。このとき明らかになったのは、計算された応力値と実際に生じているであろう応力値との間にへだたりがあり、その原因は塑性変形を取り込んでいないためであった。したがって、塑性変形を起こすニッケルサーメットの電極の塑性挙動を明らかにするのは重要なポイントであり、応力解析の高度化を図る上で不可欠であった。



図Ⅲ-1.1-55 筒状横縞形シャットダウン試験時の温度変化と電位変化

### iii. ニッケルサーメット電極・支持体の Redox 耐性

ニッケルサーメット電極・支持体における Redox 時における機械的性質に関する検討が筒状平板形を用いて行われ、良好な Redox 耐性が確認された。

九大において筒状横縞形を用いたシャットダウン試験が行われた。図Ⅲ-1.1-55 に示すように、温度降下時に横縞形セルスタック中の各セル電位が順次 0 V 近辺まで低下することから、電位を与えている電極 3 相界面上に存在するニッケルはすべて酸化されているが確認できる。このような条件化で行われた試験で、ニッケルサーメット電極の性能劣化はほとんどないことが確認された。

### (d) 加速試験法に関する検討

本プロジェクトの目標は、劣化機構解明と加速試験法の立案・検証・確立がセットになっている。本プロジェクトを遂行する中で、劣化現象が一つの劣化要因によって引き起こされるのではなく、更に複雑な様相を呈することが徐々に明らかになった。特に本プロジェクトの前期では、製造手順に起因する製造直後のセルの状態が重要で有り、後期ではそれに加え、運転条件も大きく劣化の進展に影響を与えることが明らかになった。

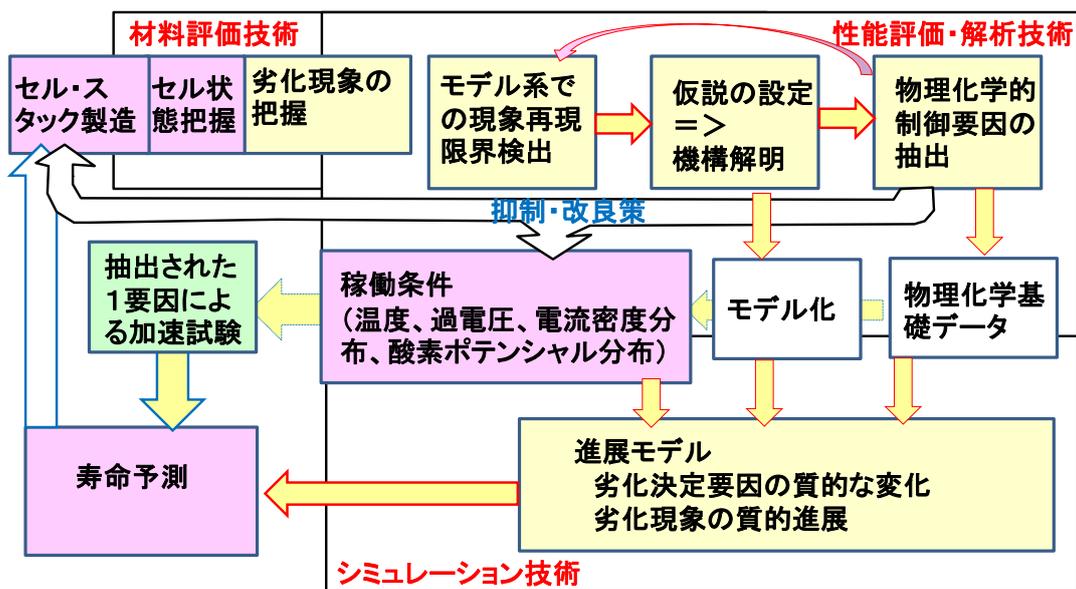
これらの理解を図示すると図Ⅲ-1.1-56 のようになる。開発初期に現れる劣化現象は、大方の劣化要因がわかり、抑制策なり改良方法が得られれば、加速試験にかけられることもなく製造過程の改良へフィードバックされる。

ある程度劣化の激しいものが改善され、長期の耐久性試験が行われるようになると、長期耐久性に影響を与える劣化要因も限定されるようになり、その特定された要因に基づいて加速試験が行われる。加速性が良い場合には、短期間の内に寿命予測ができるようになり、改善策が十分であるか、更なる改善が必要かが明らかになる。

また、劣化機構が複雑な場合には、一つの制御要因を抽出することが困難になる。そのため、加速試験よりも、複雑さをそのまま評価できるシミュレーションを行うことになる。ここでのポイントは如何に長時間にわたる進展モデル・発展モデルを構築し、質の変化に対応できるかにある。

このように考察すると、複雑な系で無理に加速試験を行う意義はそれほど大きくはなく、それ以上にシミュレーション技術の進展が望まれることになる。

以下では本プロジェクトで考察したより具体的な劣化現象におけるその複雑さの程度を概観しておく。



図Ⅲ-1.1-56 劣化機構解明と高耐久性・高信頼性の確立に必要な技術

#### i. 一般化された不純物被毒モデルの構築

前期で提出した一般化されたモデルを更に発展させて次のような5過程を想定することとした(Cr被毒を例にした5過程については図Ⅲ-1.1-53(a)に図示されている)。

- ① 化合物生成過程(トラップ効果) 電極物質と気相不純物種が出会った場所で反応して化合物を生成し、トラップ域として機能する過程。
- ② 化学的凝縮過程: 気相不純物種と電極物質とが反応し、凝縮相を電極全域で析出させる反応。駆動力は濃度・活量の差による化学ポテンシャル差で正方向・逆方向とも生ずる。①と②は同じ反応である可能性もあるが、速度論的因子が異なることを想定している。反応速度が速ければ①の過程が優先することになる。
- ③ 電気化学的凝縮過程: 気相不純物種が電気化学的副反応として凝縮する反応。駆動力は過電圧により生じる化学ポテンシャル差。一方向のみ進行する。凝縮後に、電極物質との化学的相互作用などが新たに生じる場合もある。例えば析出相として凝縮したものが、電極物質の内部に固溶するなど。
- ④ 電気化学的揮発過程: 電気化学的反応場に堆積した不純物が、電気化学的副反応として揮発する反応。駆動力は過電圧による化学ポテンシャル差。一方向のみ進行する。
- ⑤ 化学的揮発反応: 電極物質と気相不純物化学種との反応で、揮発側に平衡シフトさせる反応。

このモデルでは、気相不純物化学種と電極物質の化学的過程を想定されうる限り数え上げいくつかの過程に分類した後、個々の不純物被毒現象において性能劣化との相関関係がどのように生じているかを明らかにする。前期で提案したモデルよりも更に強調されているのが過程4の電気化学的揮発過程である。特に重要視したのが、カソード副反応として生じる可能性のある水蒸気の発生である。



YSZとセリア中のプロトン溶解度を比較すると2ケタの違いがあるので、セリアを電解質あるいは中間層として用いたときにより多くの水蒸気が発生することはSIMSを用いたモデル実験で確認されている。但し、セリア中のプロトン濃度・伝導度を酸化物イオン濃度・伝導度と比較すると $10^{-3}$ 以下だと思われるので発生する蒸気圧も $10^{-3}$ 気圧以下だと想定される。

このような考えは、LSCF 電極と Cr 含有蒸気との反応が OCV 条件下と発電時で異なることから導出された。水蒸気が発生すると、LSCF 中の Sr、Co などは水酸化物蒸気として揮発する。LSM 系電極では Mn と Sr が揮発するがその蒸気圧は LSCF に比し小さい。このため、LSCF の時のみ、Sr(OH)<sub>2</sub> 発生がおこり、輸送されて表層における SrCrO<sub>4</sub> 生成に結びつく。小型円筒形で SrCrO<sub>4</sub> 生成を表層で観測されないのは、温度が低いことによる Sr(OH)<sub>2</sub> 発生量（あるいは蒸気圧）の低下のためであろう。いずれにしてもこれらの金属水酸化物蒸気の分圧は 10<sup>-10</sup> 気圧程度であろう。このようにセリア層を用いたときに水蒸気が発生するという想定すると、従来観測されてきた異なる空気極のクロム被毒挙動が、統一した描像の中で考察できる。

このモデルで前提としている 5 過程がどのように各被毒減少で特定できるかを表 III-1.1-32 に示す。また、Cr 被毒を例にして、どのように運転条件がそれぞれの過程の影響度に変化を与えるかを図 III-1.1-57 に示す。

空気極性能が三相界面上に堆積したクロム量に依存するという単純なモデルを立てたとしても、堆積量自身が、セルの運転状況に大きく依存することがわかったので、クロム被毒を対象にした寿命予測には、運転履歴の情報とその各プロセス中に变化するクロム蓄積量の見積もりが必要となる。電極性能とクロム蓄積量との相関をとることが加速試験であるとする、実際の寿命予測はより複雑なシミュレーション技術を必要とすることを示している。

表 III-1.1-32 主な被毒劣化現象と主な素過程、抑制策、運転条件依存性など

	第1過程	第2過程	第3過程	第4過程	第5過程	抑制策	運転条件依存性	スタック条件
Cr 被毒 LSM	無し	B-サイト固溶	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 析出	水蒸気発生	Na による揮発	セリア層 Cr 源減	温度、過電圧	合金低温化
Cr 被毒 LSCF(中温)	SrCrO <sub>4</sub> 生成	SrCrO <sub>4</sub> B サイト		Sr(OH) <sub>2</sub> 発生		Cr 源減	温度、電流密度	コーティング
Cr 被毒 LSCF(低温)			Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> LaCrO <sub>3</sub>	無し		S 減少		
S 被毒 LSM	無し	吸着	吸着		脱着	必要なし		
S 被毒 LSCF		化学吸着	化学吸着 SrSO <sub>4</sub>			S 源減		製造条件
S 被毒 Ni	無し	吸着		SO <sub>2</sub> 発生	脱着(遅)		温度変化	BOP 合金
P 被毒 Ni	Ni-P	固溶	析出	HPO <sub>2</sub> HPO <sub>3</sub>		P 混入防止		トラップ位置

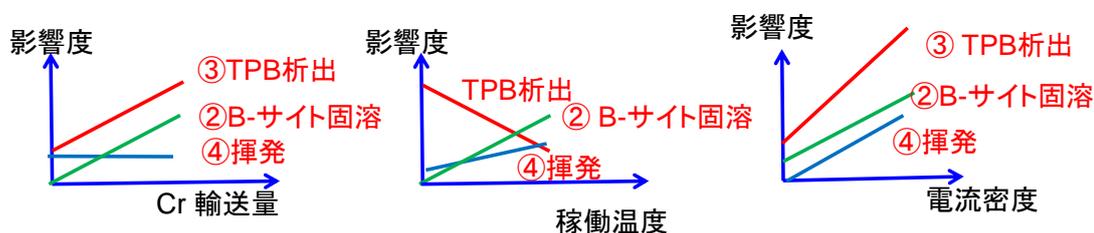


図 III-1.1-57 LSM 系空気極の Cr 被毒における稼働条件の違いによる各要因の影響度の変化

## ii. 石炭ガス化ガスの被毒反応と一般化された被毒モデル

後期においては、硫黄 (H<sub>2</sub>S) に対してより長時間の試験を行い、劣化が徐々に進行する傾向を認めた。上述の一般化されたモデルでは、初期硫黄導入時以降のステップ状に低下する性能変化については、化学的・電気化学的硫黄の凝集反応と、凝集硫黄の二酸化硫黄への電

気化学的酸化揮発反応のバランスでニッケル電極上に吸着している硫黄化学種の濃度が一定に保たれているために起こると想定している。今回の結果はそのバランスがわずかずつ偏倚する事を示している。凝集反応は吸着反応ばかりでなく、ニッケル内部への固溶も含むため、長時間では少し筒状態が変化すると思われる。そのような効果も取り入れて劣化現象を決めている要因をさらに分析する必要がある。このためには、通常の状態での劣化の少ない安定なセルを利用することが望ましい。特に運転前には硫黄の汚染が少ないことを確認する必要がある。

### iii. セル集合体としての機械的信頼性

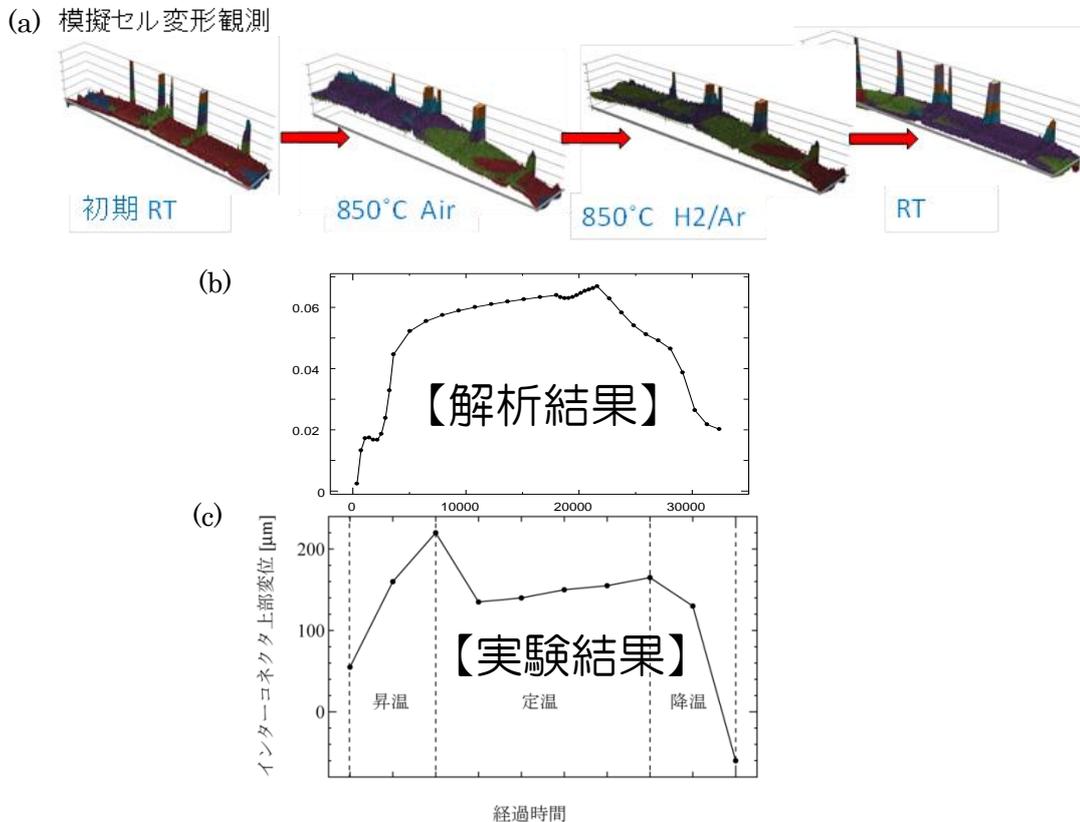
機械的解析課題では、模擬セルを用いた実験をすることで加速試験と同等なことを試みる検討を行ってきたが、劣化機構解明の全体像が図Ⅲ-1.1-57のように定式化された後で再整理してみると、図中の作業の後半に属するシミュレーション技術が機械的解析課題の担当する分野であることが示唆される。以下では、この観点に従って、再整理する。

#### ① 体積変化発生現象と応力

スタック構成材料の中で体積変化がおりり応力関係が変化する原因となるのは熱膨張、酸化還元反応に伴う体積変化および化学的膨張である。前者は温度分布が重要であるのに対し、後者は化学ポテンシャル分布特に酸素ポテンシャル分布が重要となる。

化学的膨張は化合物の中で原子価変化が起こり、体積が変化するもので希土類添加セリア、ランタンクロマイト系インターコネクト、コバルト含有 LSGM などが該当する。

前期起動停止課題（円筒平板形）において、東北大学は三菱マテリアルと共同して円筒平板形セルの応力解析を行い、三菱マテリアルが行った限界試験結果と比較検討すること



図Ⅲ-1.1-58 (a) 模擬セルを用いた変形の観察、(b) 運転条件を考慮したシミュレーション結果 (c) 計算結果と比較すべき実験値

により、円形平板形セルが限界を超えてクラックが入る場合に、どの位置からどの方向に進むかを考察する基盤情報を提供するとともに、このような応力集中に影響を与えるセル厚、セルサイズ、セル内温度分布などの因子に対して検討を行い、セル内温度分布の影響が大きく現れるなど、実機セルの破戒挙動を再現することに成功した。

後期においては、筒状平板形、小型円筒形などについてのモデル化を行い、必要な物性値の取得とともに応力解析、変形解析を行った(図Ⅲ-1.1-58 参照)。現在の取り扱える大きさは計算時間の制約などのためそれほど大きくは設定できないが、スタックを構成するセルならびに関連材料を含んだ系として取り扱っているため、集合体として応力解析ができる段階になった。

## ② 応力とクリープ挙動

金属とセラミックスを用いた場合、クリープ挙動が異なるため、SOFCのスタック技術の中で如何に金属とセラミックスを共存させて用いるかが重要となる。ニッケルサーメットの塑性変形を実験的に検討した結果、機械的応力の計算の絶対値が妥当な値となり、実用的な状況を検証することができるようになった。

## ③ 運転状況を考慮した数値シミュレーション

後期ではシャットダウン特性評価が一つの焦点となっているため、応力解析においても運転状況を考慮にいたれた取り扱いを行った。特に起動停止時には、温度変化に加え、酸素ポテンシャルも大きく変化するが、セル集合体として見た場合、酸化物イオン伝導体と活性電極とが組み合わさっていることから、中高温度域では電気化学的局部電池として作動し、温度勾配による電位が発生しているなら、温度を均一化する方向に電流が流れ、燃料組成あるいは酸素濃度に勾配があり電位値セル内で分布が生じれば、同じく内部局部電流が流れ、電位を一定にするように働く。このことは、シャットダウン時に観測される電位(例えば図Ⅲ-1.1-55)からも伺い知ることができる。このような考察から、起動停止時の応力解析には、局部電流が流れうる領域と流れない領域との境界領域で特殊な状況が現出することが予想される。

## ④ 化学的・機械的相互作用

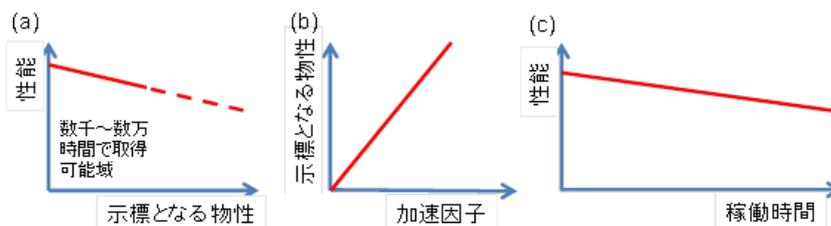
本プロジェクトの開始時に、化学・機械的な相互作用が重要になるであろうと予想したものが、成果としては十分に示すことができなかったが、その端緒となる現象はいくつか観測され、シミュレーション技術としても同じフレームの中で考察できるように考え方の整理がおこなわれてきた。

例えば、電解質の項で述べた製造時に固溶するNiOの還元が及ぼす相変態・ニッケル金属析出への影響が、起動停止時における温度変化・酸素ポテンシャル変化へと拡張されると、更に応力解析の的確性を向上させると思われる。

また、不純物による影響も今後検討する必要があるだろう。セル内で濃集することが明らかになったSi、Pはニッケルのシンタリングも誘発する。

## iv. スタック・スタック材料を用いた加速劣化の事例研究

後期において、スタック側が行ったいくつかの加速劣化試験法についてここで考察する。基本的な発想は、選定した性能劣化現象を決めている要因を抽出し、その主たる要因を決定づけている物理的性質を運転条件とは違う環境で変動させ、性能劣化との関連性を調べるも



図Ⅲ-1.1-59 加速劣化試験法の前提となる考え方。

のである。Ⅲ-1.1-59 に示すように劣化の示標となる物性が想定され、その物性値の変化幅が数千～数万時間では、あまり大きく変化しないときに、長時間運転ではない別の方法で加速、進展させることで当該物性値の値の大きな試料を作成し、その性能を測定することによって変化幅の大きな相関を手に入れることにある。適当な稼働時間と当該物性値との相関が得られれば、間接的に長時間にわたる性能の予測ができることに対応する。

実際この考えで適用された加速試験としては次の項目を挙げることができる。

#### ① 高温円筒横縞形空気極における低運転温度領域での性能劣化に関する加速効果

高温円筒横縞形空気極はセリア中間層を挿入することによって大幅な過電圧の改善がなされたが、低温域で微構造の変化が顕著であることが産総研によって指摘された（前期成果）。三菱重工業では温度を変化させて性能を詳細に観測するとともに、微構造の変化としてセリア層と空気極層間に形成される緻密ペロブスカイト層の厚さを一つの指標として抽出した。種々の条件下で厚さの異なる電極を作成し、厚さと性能との関係を明らかにした。厚さの時間変化の挙動予測と厚さと性能との相関より、長期耐久性を評価した。

この現象の重要な点は性能低下が低温ほど進行するのが早いということである。このため低温で生成した緻密膜層の性質と高温で（加速）成長させた緻密膜が同じ性能低下を及ぼすのかという疑念が残る。この違いをより明確にするとともに、低温で促進する要因そのものを突き止め除去することを目指すことも重要と判断している。

#### ② 筒状平板形セリア中間層内の $\text{SrZrO}_3$ 生成の温度による生成速度加速効果

前プロジェクトからの検討によって、空気極と YSZ 電解質の間に挿入するセリア層中を Sr が拡散して YSZ 電解質とセリア中間層の界面に  $\text{SrZrO}_3$  が製造段階で生成することおよび運転中にも Sr が拡散が進行することが判明した。京セラでは、この効果の時間変化を評価するために、セルの温度を上げて拡散を促進することによって  $\text{SrZrO}_3$  生成量を増やし、運転温度に戻してセル性能を評価して、長期耐久後の性能を予測する加速試験法を検討した。この方法自身は一定程度の成果をもたらしているので有力な方法であると判断できる。但し前述したようにいくつかの  $\text{SrZrO}_3$  生成段階があるという観点からみた場合、その発展機構を制御している因子を更に見極める必要がある。

#### ③ 筒状平板形燃料極のニッケルシンタリングによる効果と性能への反映

ニッケルシンタリングによる効果を明らかにするために、同じく京セラでは、シンタリングを表す指標としてニッケル粒径を選び、新たにニッケル粒径の大きな燃料極を作成し、その性能を測定することによって、ニッケル粒径と性能との関係を導出するとともに、粒径の時間変化を予想することによってニッケル燃料極の長期耐久性を評価している。

この方法が機能するためには、(酸化)ニッケル粒径の大きい原料から出発したサーメット電極微構造が、微粒から出発したサーメット電極のニッケル凝集後の微構造が同じになると仮定されている。これも別途検証しなければ成らないであろう。

燃料極のところで記述したように、ニッケルのシンタリングと性能変化にはいくつかの相関パターンがあり、その違いがどのような時に生じるのを発展モデル的にとらえる必要がある。

#### ④ 円筒横縞形における Cr 被毒試験

これは意図された加速試験ではなかったが、長期耐久性試験に用いた合金製空気導入管からのクロミウム蒸発が、結果として BOP（ガスタービンおよび関連する配管）からのクロミウム蒸発より多かったため、適切な濃度加速試験となった。

以上のようにスタック側においては、長期耐久性を短期に評価するための加速試験法に対する意欲が強く、かつ実際に多くの試みを行っている。概ね、目的とする結果を得てはいるが、いずれの場合も劣化要因を一つに絞れているとはいえないため、加速劣化試験法としての適否は慎重に検討する必要がある。

## (f) SOFCにおける劣化の特徴と今後の取り組み方

### i. 本プロジェクトで扱った寿命予測、加速劣化試験法および劣化機構解明

寿命予測は、電中研が行った性能評価に基づいている。この方法ではスタック性能を空気極過電圧、燃料極過電圧およびその他の抵抗成分の増大に分離するため、劣化要因分析と良く整合する枠組みを提供している。また、スタック性能の評価に際しては、運転温度の変化、電流密度の変化なども観測しているため、運転状況に応じた整理ができていて、適用性が高い。また、本プロジェクトでは、電解質材料などの内部の酸素ポテンシャル分布が重要な状態量としてクローズアップされてきたが、本性能評価が、空気極過電圧と燃料極過電圧を分離・同定しているため、そのときどきの酸素ポテンシャル分布を導出することを可能にしている。このことは、機械的性質などの解析を行う上での重要なパラメータを提供することに対応する。電極過電圧部分がそれぞれで分離されているので、これから発展するであろう電極性能予測法との整合性もよくとれるであろうし、その他の部分でも、整合性ある情報を提供するとともに、他の解析と連動させることができるフレキシブルな表現となっている。

加速試験法として認識できるいくつかの試みが行われ、ある程度の有効性が認められた。但し、本プロジェクトでの基本的な立場は、劣化機構解明と連動しない加速試験法は、その有効性をあまり過大に期待しない方がよいというものである。実際、本プロジェクトで明らかになった一般的傾向は、単純そうに見える劣化であっても、意外と要因的には複雑であり、複数の過程が競合したり、連動したり、逐次的に起きていることが強く示唆された。従って、今後の劣化挙動の適切な理解はこれらの複雑性を取り入れたシミュレーション技術が不可欠になるとの認識を深めるにいたった。

### ii. 本プロジェクトで扱った劣化と製造過程・運転条件との関連

前プロジェクト、本プロジェクト前期を通じて考察してきた劣化要因を概観してみると、概ね製造時に起因する劣化と外部より混入した不純物により劣化とに分類できる。また、運転条件に強く影響される様相も徐々に明らかになってきた。

製造時に起因するものの多くは、製造温度で局所的平衡状態が実現された後、運転条件下あるいは起動停止時も含めた条件下で新たな平衡に移るための物質移動過程が、特殊な元素のみ拡散するという束縛条件の中で起こることによる。拡散ばかりでなく、固相が関与する表面反応でも特殊な条件が実現される場合がある。例えば、円筒縦縞形の電解質粉化、筒状平板形・筒状横縞形のニッケル固溶による相転移促進などはマンガン・ニッケルなどの拡散が関与するとともに、粉化では核形成の段階でも特殊な状況が現出していると思われる。今後もセルの改良などが行われる時には、このような劣化要因を想定する必要がある。

電解質以外の材料では、最高温度で焼成しない部位で劣化を示す例が多かったが、その理由の一つとして焼結温度が比較的低いために、わずかな不純物（燃料極では硫黄、リンなど）の影響で微構造が大きく変化するためと思われる。他方で、高い温度で焼結した場合でも同じメカニズムで劣化が現出する可能性は残ると推測され、ただ現出するまでの時間がより長くかかると理解した方が適切であると判断される。特に燃料極の硫黄汚染については、起動停止サイクル時に大きなニッケルシンタリング効果を示していた円形平板形の汚染の程度よりわずかに1桁しか変わらない濃度まで汚染が達しうることが数千時間から1万時間の耐久試験より明らかになった。今後の適切な対策が必要とされる。

図Ⅲ-1.1-56 を用いて再整理するならば、製造過程は、種々の劣化現象の原因を作り出しているプロセスであるとともに、劣化機構解明の成果を用いて改良を行う場となっている。このために、劣化機構解明の整理の方法として製造過程で規定される状態と劣化とを結びつけた解析が必要となるとともに、製造されるセルの初期状態のキャラクター化も重要な技術の一つとなる。

また、後期においては運転条件が劣化に及ぼす影響も焦点の一つになった。運転温度の影響は全く傾向を逆にする劣化があることを示している。通常であれば、温度が高いほど劣化が大きくなる。例えば、合金の酸化皮膜による抵抗増大では、温度が高くなると被膜自身の

電気伝導度は高くなる（ホッピング機構など）が、被膜成長速度が大きくなる効果の方が強く、結果として温度が高い方が、抵抗増大が大きくなる。逆に、液体生成に起因する物質移動が促進される場合（アルカリハライドなど）では、液体が固化ならびに揮発に対して安定となる温度領域が比較的低温で現出するために、運転温度が低いほど劣化が強く表れることとなる。前期における種々の局面で考察した Ni-S 系の共融物も同じような挙動をしている。また、LSM 系空気極で起こるクロム被毒も温度が低いほど著しいが、これは低温ほど過電圧が大きく、活性点近傍での酸素ポテンシャル差が大きく生じ、被毒の駆動力を大きくさせているためである。低温ほど劣化が著しい現象は、更に温度を低下させていくと劣化を抑制する新たな速度論的要因が現れる。したがって、温度効果が変化する領域での取り扱いはより複雑になるであろう。図Ⅲ-1.1-56 を用いて再整理するならば、いくつかの要因によって劣化が決定づけられている場合、それぞれの運転条件依存性を明らかにし、どの領域で、どのような要因が主たるものとなるかの解析が必要となり、シミュレーション技術によって、大きくパラメータを変更させて、その特徴を明らかにすることが重要となろう。

### iii. スタック側から要望されている今後の耐久性・信頼性の確立に関連した課題

スタック側から要望されている今後の課題は、現在完成して耐久性を検討しているスタックのみならず、今後低コスト化と耐久性との両立の実現のために行われる改良セルスタックの耐久性・信頼性を、短時間で評価する技術の確立である。加速劣化試験法が確立できるのであれば、重要な技術となるであろう。単純な加速試験ができない場合には、その原因の追及も含めて総合的な取り組みが必要とされている。

低コスト化は、種々のレベルで追求されることが予想され、どのような手段に重きを置くかはスタック開発者の戦略的判断にゆだねられる。それが明確化・共通化されていない現状では、可能な限りの対策を想定しておく必要がある。例えば想定される方法として

- ① 材料の低コスト（前期に一部複数スタック間および原料製造メーカーとで実施）
- ② 製造プロセスでの低コスト化（焼結回数の低下など）
- ③ 製造部品の低減
- ④ セル性能の高性能化による低コスト化
- ⑤ スタック構造の低コスト化（大量生産用に設計変更、多層構造の簡略化など）
- ⑥ システム部品の簡略化・低コスト化

①-④までは製造過程に関連するものであり、④、⑤などはスタック内の温度分布、酸素ポテンシャル分布、電流分布などが大きく関与するものであろう。また⑥については、システム由来の不純物に関連してくる。

### iii. 新たな要求に対処するための長期耐久性・信頼性確立に必要なとされる技術

一言でいえば、加速劣化試験法からより高度な迅速評価技術の確立を目指す必要がある。本プロジェクトにおける加速試験法の考察から導出された図Ⅲ-1.1-56 記載の技術がこのような迅速評価技術の中核となろう。すなわち、本考察から導かれることは

- ① 製造直後のセル・部位の特性評価の高度化：製造過程が重要であることはますます明らかになって来ている。劣化のように材料の変化を取り扱う課題において、出発となる製造直後の様子をどれだけの確に把握できるかが鍵となる。
- ② 運転中あるいは起動停止中に生じる微小な変化の把握。10年（9万時間）以上の耐久性を短時間で評価するためには、性能劣化に直接反映されないような微小な変化でも捉える解析技術が必要である。
- ③ 微小変化と耐久性・信頼性との関連の把握。電気化学的性能劣化を問題にする場合には、電気化学的性能の変化を精密に同定できる測定技術とその原因を特定できる解析技術が必要とされ、さらには上記材料の微小な変化との相関があるかを認定できる技術が必要とされる。また、応力のような機械的安定性・信頼性を問題にするときには、温度および酸素ポテンシャル分布あるいは通電下であれば電流密度分布などの把握は不可欠であり、さらには運転状況の変更（例えば、起動停止）に伴って、その変化量を把握できることが必要

となる。このような情報はセンサーなどですべて入手することはできないので、適切なセンシング技術、診断技術が必要となる一方で、シミュレーションによる総括的な理解も必要とされる。

- ④ 微小な変化から大きな変化にいたる発展モデルの把握。劣化の一般的特徴として多くの要因が複雑に絡むことが明らかになってきたので、決定的要因が変化をして過程を物理化学的に明らかにして、どのような発展をしていくかを把握できるモデルの構築とシミュレーション技術が必要となる。

## (6) まとめ及び課題、最終目標の達成見込み

### a. まとめ (前期)

- ① スタック製造法ならびに製造手順によって劣化が現れる部位が異なることを明らかにした。いずれも劣化あるいは微構造の変化が顕著に認められるのは、製造過程の最後に調整された部位である。これは製造時の状態から運転条件化の状態へ物質移動過程を伴って変化する際に数千時間から1万時間程度の緩和時間が必要とされるためと理解される。
- ② 劣化部位を集学的に詳細に分析し物理化学的特徴を明らかにし、改善の指針を得た。空気極関連では酸化物中の拡散が重要な鍵となっている。燃料極においては、ニッケルの凝集が顕著に出るスタックと出ないスタックとに明確に分類できた。ニッケルの凝集を促進する機構についての検討・考察を開始した。
- ③ 不純物による劣化モードを一般化し、個別劣化の検討を一般化された視点から行うことができるようになった。新たに不純物の関与する電気化学的酸化・還元反応の重要性を認識した。また、化合物生成系ではどの程度化合物生成によって不純物がトラップされ、電気化学的活性点に到達する不純物がどのような化学種でどの程度の量かが重要であると認識するに至った。
- ④ 化学的・機械的相互作用の例として、熱膨張・化学(還元)膨張による変形と応力解析を行い実機挙動と比較検討した。

### b. 今後の開発課題 (前期)

- ① 共通課題としての劣化挙動の理解が深化したので、各スタックに固有な現象についての改善策を立案・検討していく。
- ② スタック試験後の解析をSIMS(元素移動、不純物)、FIB-SEM(微構造変化)、STEM(微小領域での化学変化)などによって集学的にすすめ、物理化学的原因究明から改善策の提示を行う。
- ③ 基盤コンソ参画機関が提案する加速劣化試験法についての検討を開始し、適切な方法を選ぶ。
- ④ 長期試験および起動停止試験での耐久性・信頼性を見極めるとともに加速劣化試験法の適用を検討する。
- ⑤ 直接的、間接的劣化機構に基づいて、性能評価式の時間依存性に反映させる。

### c. 最終目標達成見込み(前期)

#### (a) スタック耐久性

- ① 電解質において劣化要因を抱えているスタックについては、まだ検討の余地が多く、最終目標となっている4万時間耐久および250回の起動停止を同時に満足する改善策は未だ得られていない。
- ② 電解質緻密化プロセスの後に行われる(特にセルについての)製造過程に起因する劣化現象については、最適化の検討が十分に行われていなかったためと思われ、今回の劣化部位の特定、物質移動過程の詳細な検討により、改善の方向が明確に見いだされている場合が多い。特に筒状平板形においては、前プロジェクト「信頼性向上に関する研究開発」より詳細な検討と改善の試みが進んでいるため、成熟度がこの数年でかなり上がってきたものと判断される。更に本プロジェクトで得た結果から精緻な改善を行う基盤が得られた。
- ③ スタック構造に起因する劣化が最後まで残る劣化部位とすることができる。従って、加速劣化試験法もスタック構造にあった方法を採用する必要があるのではないかと推測される。また、基盤担当機関が提案する加速劣化試験法をスタック段階で行いその妥当性を

検討することは実施可能であろう。

#### (b) 劣化機構解明と加速試験法の確立

- ① 三相界面と性能劣化との相関付けは、現在急ピッチに行われている。用いる電気化学反応関連データの精査が不可欠な段階に達しており、今後の検討によって、現在の適用性が更に高度化されると、相関付けのレベルが飛躍的に上がると期待される。
- ② セルの劣化部位の中で、本プロジェクトでは燃料極の凝集が顕著に観察され、その微構造変化を FIB-SEM の三次元構造データ取得により詳細に追うことが出来た。また、水蒸気による凝集への影響の観察、実機セル中の不純物測定なども行われているので、凝集機構を残されたプロジェクト期間で総合的に明らかにすることは可能であると判断される。
- ③ 不純物による電極構造の変化・電極性能の変化の定式化を空気極と燃料極のどちらでも同じ考えが適用できるという観点のもとで行うことができたので、個別劣化現象毎に加速劣化試験法を提案することは可能であろうと予測される。
- ④ スタックに起因する劣化は多くの場合機械的性質が大きく関わってくる。実機スタックは多くの場合かなり複雑であるため、その全容をシミュレーションする段階には未だ到達していないが、データ等の積み上げ、実機セル微構造の実験的取得の進展、シミュレーションの段階的取り扱いの進展が進んでいるので、加速試験法としての定式化も視野に入ってきている。
- ⑤ 性能評価式の基づいた寿命予測を行うためには、本プロジェクトで創出した一般化された劣化モデルに従えば、電気化学的性能が直接低下する領域では比較的容易に劣化挙動を性能表示式として表現することができると思われる。また、間接的に性能低下につながる場合には、より広範な現象を扱うモデル化が必要であろう。この分野の進展は前述のシミュレーション技術の段階的な進展と連動するものとおもわれる。

#### d. 後期における最終目標達成見込みおよび今後の方向性

##### (a) スタック耐久性

- ① 円筒横縞形・筒状平板形・筒状横縞形などは目標を達成し、更に実用化の目安となる 9 万時間 (0.1 %/1000 h) も目指せる状態に達した。他のスタックにおいても劣化要因は把握されているため、更なる検討を進めれば、目標は遠からず達成されると予想される。
- ② 電解質緻密化プロセスの後に行われる（特にセルについての）製造過程に起因する劣化現象については、劣化様相が明らかになった後は、比較的早く改善が進んだ。電極反応の改善は原因がわかれば比較的容易であることが確認された。抵抗増大については、該当するそれぞれの寄与を精査し、それぞれを改善していくことになるため、電極劣化よいもやや時間がかかる傾向がある。
- ③ スタック構造に起因する劣化が最後まで残る劣化部位とすることができる。特に発電部と非発電部との境界領域など酸素ポテンシャル分布が重要な役割を担っていることが明らかになった。

##### (b) 劣化機構解明と加速試験法の確立

- ① 劣化部位の微構造の把握には FIB-SEM による 3 次元構造データの再構築が極めて有効であることが証明された。特に、電極構造ばかりでなく SrZrO<sub>3</sub> 生成域のように界面化学反応のように複雑な現象に対しても適用可能であることがわかったことの価値は大きい。さらに再構築データを用いたモデル計算による構造の定量的把握あるいは伝導特性、電気化学的特性評価も定量性が増していることから今後大きな解析手法となることが明らかになった。

- ② 不純物による電極構造の変化・電極性能の変化の定式化を空気極と燃料極のどちらでも同じ考えが適用できるという観点のもとで行うことができたが、他方でセリア層からの水蒸気・水酸化物蒸気の発生も被毒効果に関与することが強く示唆された。このため、被毒反応は単に被毒発生物質の輸送量だけにとどまらず、電流密度、セリア層の有無などにも左右されることが明らかになった。
- ③ いくつかの劣化現象には拡散に伴う化学反応が関与するが、運転温度近辺での拡散はアルカリなどの不純物に依存するとともに、特定の元素の拡散が焦点となり、元素毎に温度依存性が異なる様相も想定され、単純な加速劣化試験では不十分なことが示唆された。
- ④ スタックに起因する劣化は多くの場合機械的性質が大きく関わってくる。特に原子価の変化に伴う体積変化に起因する応力を解析するためには、セル全体におよぶ酸素ポテンシャル分布が必要とされる。劣化現象が進むことによってどのように酸素ポテンシャル分布などが変化するかなどの大胆なモデル化が必要とされる。今後ますますシミュレーションの意義がおおきくなると示唆される。
- ⑤ 性能評価式の基づいた寿命予測を行うためには、本プロジェクトで創出した一般化された劣化モデルに従えば、電気化学的性能が直接低下する領域では比較的容易に劣化挙動を性能表示式として表現することができると思われる。また、間接的に性能低下につながる場合には、より広範な現象を扱うモデル化が必要であろう。この分野の進展は前述のシミュレーション技術の段階的な進展と連動するものと思われる。
- ⑥ 本プロジェクトで検討された加速劣化試験法においては、概ね想定されている加速性を見いだすことができ有効であると思われる。ただし、劣化機構解明を行うと多くの場合で上述のように複雑な様相を示しているため、劣化機構解明の伴わない加速試験法の適用には慎重さが必要となろう。

### (c) 今後の課題

- ① 今後ますます増えるであろう低コスト化と高耐久性との両立の確立のためには、以下のような各要素を結びつけて、迅速に劣化現象を評価できる技術の確立が望まれる。
- ② 製造後セル・部位の特性評価の高度化：本プロジェクトの大きな成果の一つは、製造過程で起こる現象が劣化を理解する上で最も重要であるということである。そのために、劣化に関連すると思われる特性の評価を製造直後のセルに対して有効に行えることが重要な課題となる。
- ③ 運転中あるいは起動停止中におこる変化の把握。性能変化がおこる前の潜伏期間に生じる微細な材料変化を捉える。特に本プロジェクトでは、酸素ポテンシャル分布がどのように運転状況によって変化するかが重要な情報であることが示唆された。
- ④ 微細な電気化学的性能変化の把握。短期間で長期的な見通しを得るためには、性能変化の微小変化を測定・解析する技術が必要となる。本プロジェクトで取り扱った SIMS、FIB-SEM、STEM などどれも貴重な情報を提供する優れた分析機器となっている。これらの機器を用いて、解析し、更にシミュレーションと結びつける複層的な解析技術が今後ますます重要となるであろう。
- ⑤ 劣化に関連した現象で質的な変化の把握。単純な加速劣化手法ではとらえられない、複雑要因による劣化、複層的に進行する劣化、相互干渉的に起こる劣化などの取り扱い技術の深化。
- ⑥ シミュレーション技術および進展モデルの開発。時間変化、運転条件の変化などの基本的なパラメータが規定する中で生じる劣化現象を把握するシミュレーション技術が必要。

## 1. 2 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

### 1. 2. 1 耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ材料の開発

#### (1) 研究開発概要

平成 16 年度から 19 年度にかけて実施された「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」などにより、発電効率 40%HHV の達成や、大型システム化などの大きな成果が得られたが、各部材の耐久性・信頼性のさらなる向上と低コスト化が市場導入の技術課題として抽出されている。

金属インターコネクタ材料(\*1)には、「①作動温度での耐酸化性」、「②作動温度での電気伝導性」、「③電解質や電極材料に近い熱膨張係数」等の特性が要求される。日立金属では、1,000°C 作動が主流であった頃から Fe-Cr 系フェライト系合金に着目し、導電性を有する酸化膜を形成させつつ、作動温度での耐酸化性を向上させる研究に取り組み、Fe-22Cr 系フェライト合金 ZMG®232 を開発した。その後、作動温度の低下が進み、さらに金属インターコネクタ材料適用の可能性が高くなってきた。これに合わせて当社では ZMG232 の耐酸化性の改良に取り組み、不純物元素量を低減することにより耐酸化性を向上させた ZMG232L を開発してきた。

しかし、実用化促進のためには、各部材の耐久性の向上、低コスト化が必要とされている。金属インターコネクタに関する課題は、①耐久性と、②コストである。①の耐久性の課題については、「金属材料が作動温度で酸化され、酸化皮膜生成による接触抵抗が増加することによる発電性能の低下」、および「Cr 酸化皮膜から蒸発した Cr が蒸着し、セルが被毒することによる発電性能の低下」が挙げられる。②のコストの課題については、「SOFC 用に開発された特殊な Fe-Cr 系合金であるために生産量が少なく素材コストが高いこと」が挙げられる。

そこで、本事業では、SOFC の早期市場導入のため、「耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ材料の開発」により、①金属インターコネクタの耐久性を向上させること、②種々のタイプのスタックに対する共通仕様とすること、③素材の低コスト化を実現すること、の 3 点により、低コスト燃料電池システムの市場導入を実現することを目的として、研究項目毎に中間目標を掲げ、開発を推進し、これを達成する見通しを得た。

\*1 インターコネクタ材料としているが、セパレータ材、集電部材も含む(以下、同様)

#### (2) 研究開発目標

本テーマでは、中温円形平板形、中温筒状平板形、マイクロチューブ形の 3 タイプのスタックメーカーに素材を提供し、発電試験評価を実施頂き、2 者会議や、全者を一同に介した開発推進委員会を開催し、合金改良へ結果をフィードバック頂く体制をとっている。また、本テーマの目標値は、スタックメーカー 3 社と協議して設定したものである。

耐久性については、各社からの共通の要望事項である、金属材料の接触抵抗増加率の低減とした。プロジェクト全体の目標である 4 万時間での電圧低下率 0.25%/1,000h 以下のうち、金属インターコネクタでの電圧低下率の目標値をスタックメーカー 3 社から提供いただき、電圧低下率から接触抵抗増加率に換算し、最も厳しい要求値を最終目標(<0.05mΩ・cm<sup>2</sup>/1,000h)、2 番目に厳しい要求値を中間目標(<0.2mΩ・cm<sup>2</sup>/1,000h)として採用した。コストについては、スタックコストに占める金属インターコネクタ用素材の割合、素材の希望コストを同 3 社から提供いただき、最も厳しい数値を最終目標として設定した(中間目標は、普及時に 5 万円/kW 程度のセルスタックを作る金属材料の 2 倍程度のコストの見通しを得ること、最終目標は、普及時に 5 万円/kW 程度のセルスタックを作る金属材料のコストの見通しを得ること、とした)。

### (3) 研究開発成果

#### a. 研究開発成果、達成度

##### (a) 耐久性の目標に対して

##### i. 合金組成の改良・・・接触抵抗の低減

金属インターコネクタ材料は隣接する電極・電解質等のセラミックス材料に近い熱膨張係数を要求されるため、フェライト系の金属材料である必要がある。しかし、SUS430等の市販合金では耐酸化性が不十分であることから、当社では平成17年に、市販合金の2倍以上の耐酸化性を有するFe-22Cr系フェライト合金ZMG232Lを自社開発した。ZMG232Lは、作動温度での良好な長時間耐酸化性、導電性を有し、その耐酸化性、導電性は競合材と同等以上である。

しかし、板厚が薄くなるほど酸化速度は速くなり、極めて薄い試験片条件では、短時間で異常酸化が発生するなど、ZMG232Lにおいても本プロジェクトの目標を達成するための耐酸化性は十分ではないため改良が必要である。本テーマではZMG232Lをベースにした合金組成の検討を中心に開発を進めた。目標は接触抵抗増加率低減であるが、接触抵抗は耐酸化性と強い相関があることから、アプローチは「耐酸化性の向上」として、改良を進めた。

SOFCカソード環境において、ZMG232Lは酸化皮膜を形成し、その構造は、表面から(Mn,Cr)<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/合金となる。ここで、(Mn,Cr)<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層は、接触抵抗の低下、Cr蒸発の抑制に寄与する一方で酸化速度が速いために、耐酸化性を低下させる。また、異常酸化は、酸化の進行による合金内部のCr量の低下に伴う現象であることを自社研究にて見出していたため、Mn添加量の減少、Fe-22Cr系からFe-24Cr系への変更、Crの拡散に何らかの影響を及ぼすW添加を実施した合金を改良材として検討した。この結果、薄板での大幅な耐酸化性の向上が見られ、金属インターコネクタの寿命を3倍まで向上させることができた。

上記の耐酸化性の向上により、現行ZMG232L対比で接触抵抗増加率の大幅な低減が見られ、かつ中間目標0.2mΩ・cm<sup>2</sup>/1,000hに近づけることができた。また、接触抵抗は、酸化増量に比例することが分かっていること、および、酸化増量はMn量の調整により減少できることが分かっていることから、中間目標達成のための合金組成を見出すことができた。

##### ii. 表面処理適用による改良・・・Cr蒸発の抑制

SOFCに一般的に使用されるMnCoコーティングのCr蒸発抑制効果を試験片レベルで確認することを目的として研究を進め、コーティングなしの素材からCr蒸発が確認される加熱条件で、コーティング材からのCr蒸発が見られないことが確認できた。ただし、コーティング膜中に、Crが拡散する現象が見られたため、合金改良+表面処理の組合せによる更なる改良が必要である。

##### iii. 簡易耐久性評価技術

種々の酸化試験装置を導入、および、既存装置のn増しにより、金属インターコネクタの評価に関する簡易加速試験を確立した。

##### iv. 発電試験評価・・・一部、再委託

現行ZMG232L、および改良材を3タイプのスタックメーカーに提供し、発電試験を実施頂き、改良材の実機試験結果の適切なフィードバックにより、耐久性改良の焦点が明らか

になった。3社の共通事項は次の2点である。

- ① 改良材は現状材に比べて金属材料の表面抵抗(=劣化率)を低減できた。
- ② Cr蒸発によると思われる発電性能劣化が確認された。

#### v. 通電効果メカニズム…再委託

目的は現状材 ZMG232L 酸化挙動に及ぼす電流の影響を明らかにすることであり、Fe-22Cr モデル合金、ZMG232L とともに、低電位側にて酸化が加速される傾向が確認された。ただし、ZMG232L への電流の影響は非常に小さいことが明らかとなった。

#### (b) コスト目標に対して

中間目標達成のためのアプローチは、耐久性を向上させることで使用量を低減し、スタックコストにおける金属コスト削減につなげるということである。これまでの検討から、金属使用量とスタック寿命の関係を算出した結果、スタック寿命4万時間を達成するための金属使用量を約50%まで削減でき、中間目標を見通せることが分かった。

### b. 成果の意義

#### (a) 合金組成の改良…接触抵抗増加率低減

スタックメーカの要求特性に近づけたことで SOFC の実用化に大きく貢献できると考える。

#### (b) 表面処理適用による改良…Cr 蒸発の抑制

まず、Cr 蒸発性の簡易的定量評価方法を確立したことが大きな成果である。コーティングなしの条件で、現行 ZMG232L と改良材 232J3 の Cr 蒸発量を比較評価すると、232J3 の Cr 蒸発量がやや多いことが確認された。よって、232J3 は、耐酸化性、接触抵抗は大幅に改善できたが、Cr 蒸発性はやや悪化したという位置付けを確認した上で発電試験に供することができた。

#### (c) 簡易耐久性評価技術

下記の発電試験評価と合わせて、金属インターコネクタの研究開発が大幅に迅速化された。

#### (d) 発電試験評価…一部、再委託

現行材、および改良材の発電試験結果の適切なフィードバックにより、耐久性改良の焦点が明らかになり、目標値の重点を Cr 蒸発抑制にシフトする必要性を認識できた。これにより、表面処理+合金改良の組合せによる更なる Cr 蒸発抑制の検討にいち早く着手することができた。

#### (e) 通電効果メカニズム…再委託

現行材の酸化への通電の影響を確認できたことは、発電試験結果の考察に有力な知見となる。

### c. 成果の最終目標の達成可能性

#### (a) 耐久性改良

接触抵抗増加率の最終目標達成のためには、抵抗増大の要因である酸化皮膜をより薄くする必要があるため、Cr 蒸発量の増大が容易に想像できる。最終目標に関しては、接触抵抗増加率は中間目標レベルとし、新たに、Cr 蒸発抑制に関して、合金改良+表面処理の組合せの最適化により、「現行 ZMG232L+本テーマで検討済の表面処理より低いレベ

ル」とすることを提案したい。なお、Cr 蒸発抑制に関する目標値については、来年度以降の計画確定までにスタックメーカー各社と協議の上で決定する。合金改良に関してはすでに改良に着手しており、Cr 蒸発抑制傾向を確認済みである。また、表面処理方法、材質について多岐に亘り検討していく。

#### (b) 低コスト化

現在、自社研究にて、現行 ZMG232L の低コストプロセスの開発を実施しており、その諸特性と低コスト化レベルの予測の精度を向上させている。改良合金にこれを適用することにより、コストの最終目標を達成できる「耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ」が開発できる見通しを得られることを検証する予定である。

### (4) まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

#### a. まとめ及び課題

##### (a) 成果

- ① 合金改良により、耐久性を大幅に向上させることに成功し、接触抵抗増加率に関する中間目標達成の見通しを得た。また、発電試験の結果の適切なフィードバックを受けることで、合金の目標達成に向けた方針が確定した。
- ② 耐久性を向上させ、金属使用量を低減させることで、スタックコストにおける金属素材コスト削減につなげる見通しを得た。

##### (b) 課題

- ① 合金改良+表面処理の組合せの最適化により、接触抵抗の低下と Cr 蒸発抑制を両立せる。
- ② 自社開発中の低コスト化プロセスを適用し、素材の低コスト化を実現する。

#### b. 事業化までのシナリオ

本プロジェクトの実用化は、国内外における SOFC スタックメーカー等に、金属インターコネクタ材、集電部材、またはその加工部品を提供するところまでを指す。

##### ① 事業化の対象製品・サービス等

SOFC に使用される金属インターコネクタ材、金属集電部材、その他金属部材の素材、またはその加工部品を対象製品とする。海外において関税等の問題から現地生産が適すると判断される場合は知財権等の技術供与を行う場合も想定される。

##### ② 事業化の分野・事業内容

SOFC 用金属インターコネクタ、金属集電体等の金属部材の製造、販売。

##### ③ 事業化を想定する市場

顧客は SOFC のスタックメーカー、システムメーカー等。市場は、国内、海外の両方を想定。

## 1. 2. 2セルスタック材料の低コスト化技術開発

### (1) 研究開発概要

我が国の現在のSOFCに関する技術は低コスト製造技術については国際的にも優位なポジションにあるが、世界に先駆けて実用化していくためには、さらに低コスト製造技術の開発を推進するとともに、運用性などの実用性向上のための技術開発も実施し、早期に市場導入のための基盤技術を確立することが必要である。

前事業において、普及期に要求される高出力密度化を達成できる見通しを得たが、SOFCを事業化するには高出力タイプのセルの耐久性/信頼性を検証し課題を抽出するとともに、低コスト化（セル材料費のコストダウン/工数低減/歩留向上）を実現する必要がある。燃料電池・水素技術開発ロードマップ（2008）によれば、普及期におけるシステム価格は、小容量タイプが生産数量5万kW/年レベルで40万円/kW、大容量タイプが生産数量15万kW/年レベルで20万円/kWであり、それぞれセルスタック化コストは5万円/kWを目標としている。この目標に対して、現状のスタック価格は10倍以上であり、セルスタックの低コスト化はSOFC事業化に対する主要課題となっている。

SOFCは大別してセルスタック、モジュール、システムから構成されるが、構成材料が全て固体のためにモジュールとシステムの設計思想に応じて様々な形状のセルスタックが開発されている。TOTO株式会社、三菱重工業株式会社および三菱マテリアル株式会社が開発しているスタックも円筒形あるいは平板形、高温形あるいは中温形と形状も作動温度も異なっている。しかし、適用している材料を比較検討した結果、空気極は全てペロブスカイト系材料であり、燃料極も全てNiと蛍石型構造の材料の混合粉と類似性が見出された。これらの材料を可能な限り共通仕様にするには技術ハードルが非常に高いが、材料メーカーとの連携を図りながら世界に先駆けて共通課題に取り組むことで、普及時の世界的な競争力を高められると期待できる。本事業においては、液相法（AGCセイミケミカル株式会社）と固相法（共立マテリアル株式会社）を適用し、材料の共通仕様化等を図り、普及期の目標コストを早期に達成できる見通しを立てると共に、低コスト材料を用いたセルスタック技術開発を行なうことを目的とした。

### (2) 研究開発目標（設定の理由も含め）

#### a. 中間目標（平成 22 年度）

- ① 各セルスタック開発機関がセルスタックを作製できる原料・部材の共通仕様を提案する。
- ② セル製造及びスタック化コスト等を分析して最終目標を達成するための原料・部材のコストを見積る。
- ③ 低コスト化に向けた技術開発課題を抽出する。
- ④ 低コストセルスタック開発方針を策定する。

#### b. 最終目標（平成 24 年度）

開発した技術により普及時においてセルスタック 5 万円/kW 程度の見通しを得る。なお、普及時とは以下の年間生産数を想定する。

小容量（数 kW 未満）：生産数 5 万 kW/年レベル

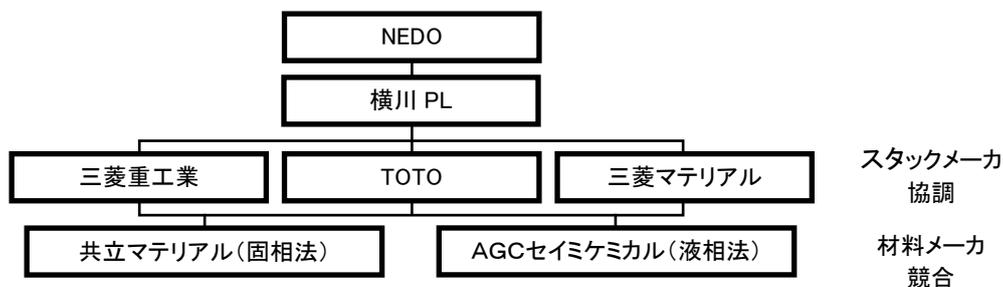
中容量（数十 kW～数百 kW）：生産数 15 万 kW/年レベル

### c. 目標設定の根拠

燃料電池・水素技術開発ロードマップ（2008）に従い、現状予測される普及期の生産量 20 万 kW/年における目標スタック価格 5 万円/kW より設定した。

### d. 体制とスケジュール

研究開発体制とスケジュールを図Ⅲ-1.2.2-1、表Ⅲ-1.2.2-1 に示す。スタックメーカー3社は仕様の共通化等を実現するため協調し、材料メーカーは低コスト化を推進するため競合関係となる体制とし、組成均一性が高いが高コストである液相法と、組成均一性は低いが低コストである固相法の異なる2つの視点から検討した。



図Ⅲ-1.2.2-1 開発体制

表Ⅲ-1.2.2-1 研究開発スケジュール

	H20	H21	H22	H23	H24
材料メーカー	方針の設定とコスト分析と	低コスト化材料の開発	中間評価	低コスト化材料製造方法の確立	技術課題抽出
スタックメーカー		低コスト化材料の評価(ペレット、ボタンセル) 共通仕様化の検討		セルスタック・モジュールレベルの試作/発電試験 共通仕様化の検討	

## (3) 研究開発成果

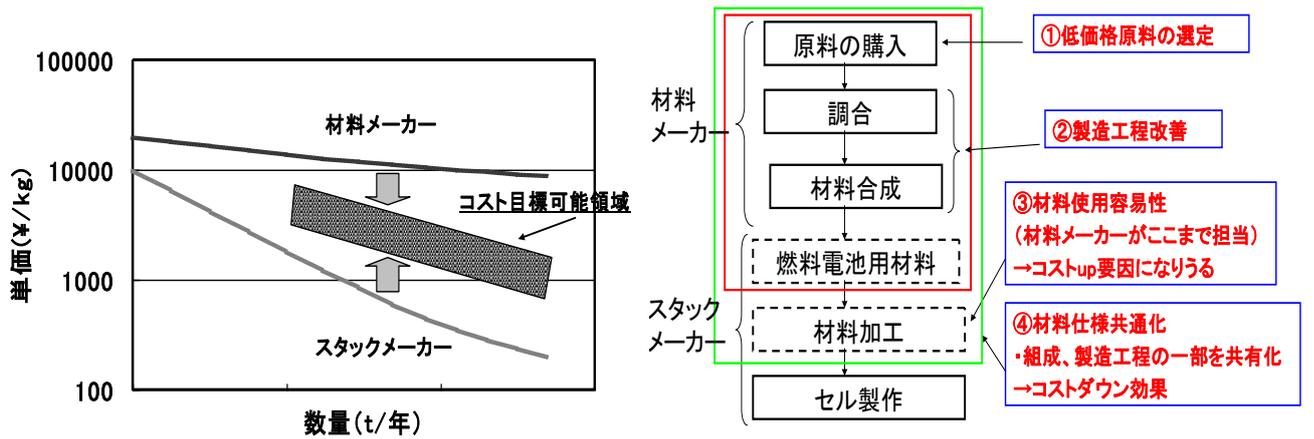
### a. コスト分析、目標コストの決定

スタックメーカーがスタックコスト、セル材料コストを分析し、スタック目標コスト 5 万円/kW を達成するための材料コストとして 1 万円/kW を得た。

スタックメーカーが使用しているセル構成材料を表Ⅲ-1.2.2-2 に示す。空気極材料は Mn 系と Co 系ペロブスカイト酸化物に、燃料極材料は Ni-YSZ 系と Ni-セリア系に大別できる。それぞれの材料について、材料メーカーでは従来の出発原料と製造工程を基準に量産時のコストを試算し、一方で、スタックメーカーでは現状の発電性能、現状工程で予測される量産時の歩留を基に材料に求められるコストを試算した。

表Ⅲ-1.2.2-2 スタックメーカーのセル構成材料

	高温形		中温形	
	円筒横縞形	円筒縦縞形	マイクロチューブ	円形平板形
	三菱重工	TOTO	TOTO	三菱マテリアル
空気極	(La, Sr, Ca)MnO <sub>3</sub> (LSCM)	(La, Sr)MnO <sub>3</sub> (LSM)	(La, Sr)(Co, Fe)O <sub>3</sub> (LSCF)	(Sm, Sr)CoO <sub>3</sub> (SSC)
電解質	ジルコニア系 (YSZ)	ジルコニア系 (ScSZ)	ランタンガレード系 (LSGM)	ランタンガレード系 (LSGMC)
燃料極	Ni-YSZ 系	Ni-YSZ 系	Ni-YSZ 系 + Ni-セリア系	Ni-セリア系



図Ⅲ-1.2.2-3 目標コストを実現するための方法

図Ⅲ-1.2.2-2 材料の製造量とコストの関係

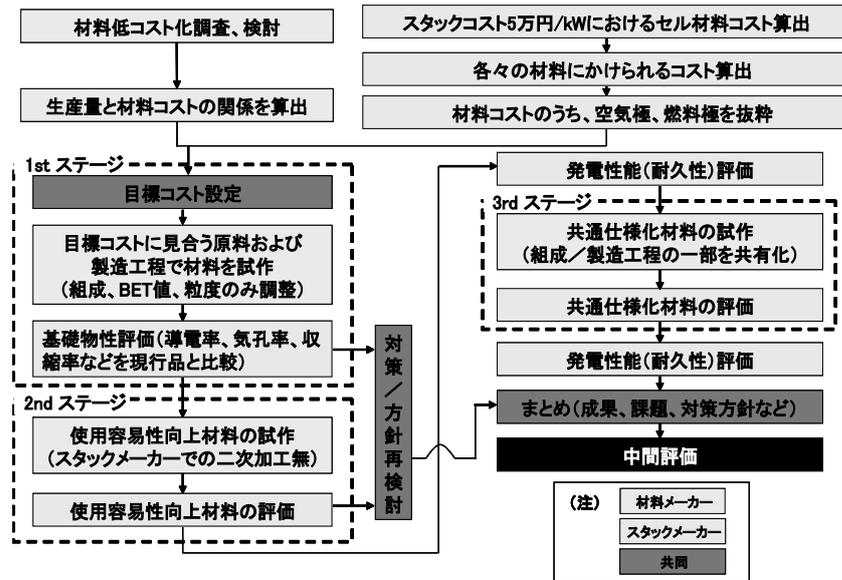
その結果、図Ⅲ-1.2.2-2 の実線に示されるように、いずれの材料においても材料メーカーとスタックメーカーが示した価格に接点が認められなかった。そこで、目標コストを実現するために、まず材料メーカーでは、低価格出発原料の使用、製造工程改善（図Ⅲ-1.2.2-3 参照）および出発原料の共通仕様化による購入量増加などの原料購入方法見直しを図った。一方、スタックメーカーはセル高出力化、歩留まり向上および工数低減を検討した。従来はスタックメーカーでセル作製前に混合や粒度分布調整などを行っていたが、材料メーカーが加工を行なって材料使用容易性を向上することにより、セル加工費が低減することも見込んだ。これは材料メーカーの加工費増加につながるかもしれないが、専門メーカーの技術力で安価に行なうことで、総コストを下げられる可能性を考慮したためである。さらには、材料組成、出発原料、製造工程などの共通化による使用量増加を図った。その結果、いずれの材料も努力目標で折り合いをつけることができた。

表Ⅲ-1.2.2-3 に本プロジェクトで検討する材料を示す。材料メーカーはスタックメーカー各社が採用している組成を試作し、スタックメーカーは他社組成も試験し、組成共通化の可能性を検討した。図Ⅲ-1.2.2-4 に低コスト材料の開発フローを示す。目標コストを設定後、1st ステージで基礎物性を評価、2nd ステージで使用容易性向上材料の評価、3rd ステージで共通仕様化について検討した。

表Ⅲ-1.2.2-3 開発する低コスト材料一覧

	組成	高温形		中温形	
		TOTO (高温)	三菱重工業	TOTO (中温)	三菱マテリアル
空気極	LSM	◎	○		
	LSCM	○	◎		
	LSCF			◎	○
	SSC			○	◎
燃料極	Ni-YSZ-1	◎	○	◎	
	Ni-YSZ-2	○	◎	○	
	Ni-セリア-1			◎	○
	Ni-セリア-2			○	◎

◎：スタックメーカー採用組成 ○：評価対象の組成



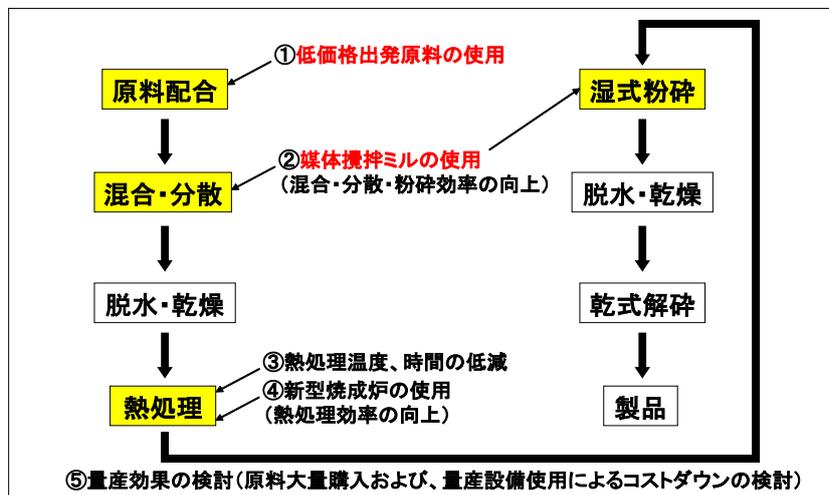
図Ⅲ-1.2.2-4 低コスト材料の開発方針

b. 低コスト化材料の開発

(a) 固相法による低コスト化技術開発

i. 固相法による低コスト化の取り組み

固相法の低コスト化への取り組みとしては、低価格出発原料の使用と、工程の改善を行っている。開発当初より、目標価格を達成する見込みのある低価格原料を用いて、図Ⅲ-1.2.2-5 に示す固相法の工程で各材料の開発を始めた。その後、低コスト化に向けた工程改善を検討し、着手している。



図Ⅲ-1.2.2-5 固相法工程フローおよび工程改善のポイント

工程改善についての成果としては、②では従来のボールミルを使用する工程から媒体攪拌ミルを使用する工程に変更し、混合・分散・粉碎の効率が約4倍に向上することを確認した。また③では、熱処理前の製品の調整や、熱処理の温度と時間の低減を図り、効率が向上することを確認した。

## ii. 材料の開発状況

各材料の開発状況を表Ⅲ-1.2.2-4 に示す。LSM、LSCM、LSCF、NiO-セリアについては、技術的課題はあるものの、目標コストの達成あるいは、それに近いコストまで開発が進んでいる。SSC と NiO-YSZ については、低価格出発原料を用いた材料を検討中であり、目標コストまではまだ開きがある。しかし、他の材料と同様に工程改善を行うことで目標コストを達成できる見込みである。

表Ⅲ-1.2.2-4 各材料の開発状況（固相法）

材料 (量産数量)	LSM・LSCM (1,000t/年)	LSCF (10t/年)	SSC (5t/年)	Ni-YSZ (1,000t/年)	Ni-セリア (100t/年)
低価格原料使用時の課題	・微量成分 ・組成、粉体特性合わせこみ	・微量成分	・微量成分	・微量成分 ・YSZ 粗大粒生成抑制	・微量成分 ・組成ばらつき
工程改善時の課題	・粒度調整粉の高密度化	・成型不良改善 ・焼結特性の合わせこみ	・工程改善品の特性確認	・YSZ 粗大粒生成抑制	・焼結特性の改善 ・焼結体内部の成分の偏析

### ① LSM、LSCM

LSM と LSCM では、標準粒径粉と粒度調整粉の 2 種類に取り組んでいる。標準粒径粉は組成、合成度、粉体特性については目標を満足していた。従来品とは異なり、微量成分も含まれているが、現在のところその影響は確認されていない。LSM、LSCM とともにスタックメーカーの評価でも導電率などの基礎特性に問題は無く、使用可能と判断された。また LSM と LSCM の組成共通化についてもスタックメーカーと共に検討中である。粒度調整粉については、粒径が大きく、密度の高い粉体を得ることが課題となっており、標準粒径粉と同様の製法で仮焼温度を高める方法で試作を進めている。粒度調整粉のコストは標準粒径粉よりも高くなる傾向であるが、今後、工程改善を行うことで目標コストは達成できる見込みである。

### ② LSCF

LSCF については、スタックメーカーの評価で成形不良や焼結性のミスマッチが確認され、この対策として、粒度分布の改善に取り組んでいる。現状の LSCF は仮焼後の状態が大きな塊で、硬度が高いため、粉砕時に大きな負荷がかかると共に、均一に粉砕されずに微細粒子が発生し、粒度分布が広がっている。現在、仮焼の条件を調整し、粉砕の負荷を軽くすることを検討中である。

### ③ SSC

SSC については、プロジェクト開始当初の低価格出発原料を用いた試作品の完成度が高く、スタックメーカーにおいてセルでの耐久性確認テストが進行中である。1,000 時間以上で大きな性能劣化は確認されておらず、微量成分の影響も確認されていないため、使用可能であると考えられる。初期の試作品の特性が良好であったため、工程改善はまだ行われていない。しかし、製造工程が Mn 系ペロブスカイト酸化物と同様のため、工程改善についても同様のコスト低減効果が見込まれる。

### ④ Ni-YSZ

Ni-YSZ については、プロジェクト開始当初に作製した低価格出発原料を用いた試作品の NiO と YSZ の粒子径が一致していなかった (NiO 粒子 > YSZ 粒子)。そのため、再度、低価格 NiO 原料の探索を行い、粒子径の調整を行った。この試作品をスタ

ックメーカーで評価した結果、焼結体内部に YSZ の粗大粒の生成が確認された。YSZ 粗大粒生成については、微量成分として材料内に存在している硫黄の影響と、YSZ と NiO の分散不足が原因である可能性がある。現在、硫黄含有量の少ない原料の選定と分散度向上の検討を進めている。

⑤ Ni-セリア

もう 1 つの燃料極材料である Ni-GDC は、Ni-YSZ と同様に NiO と GDC の粒子径が一致していなかった (NiO 粒子 > GDC 粒子) ので、Ni-YSZ で再度選定した低価格 NiO 原料を用いて試作を行った。この試作品において NiO と GDC の粒子径は概ね一致していたが、GDC 中に Gd 成分の偏在が確認された。この偏在は、原料混合時の分散が不足していることが原因と考え、媒体攪拌ミルを用いて分散度の向上を試みた。原料混合時の分散度を向上させた試作品については、Gd の偏在は改善された。

コストは現状の低価格出発原料を用いることと、工程改善で目標を達成する見通しである。

(b) 液相法による低コスト化技術開発

i. 液相法による低コスト化の取り組み

図 III-1.2.2-6 に液相法工程フローおよび工程改善のポイントを示す。液相法としては低コスト効果の大きい、低価格出発原料の各材料への適用と全ての材料共通での工程改善として粉碎溶媒の低コスト化の検討を行った。

ii. 材料の開発状況

各材料の開発状況を表 III-1.2.2-5 に示す。LSM、LSCM、LSCF、SSC、NiO-セリアについては、技術的課題はあるものの、目標コストの達成あるいは、それに近いコストまで開発が進んでいる。NiO-YSZ については、低価格出発原料を用いた材料を探索中であり、目標コストまではまだ開きがある。

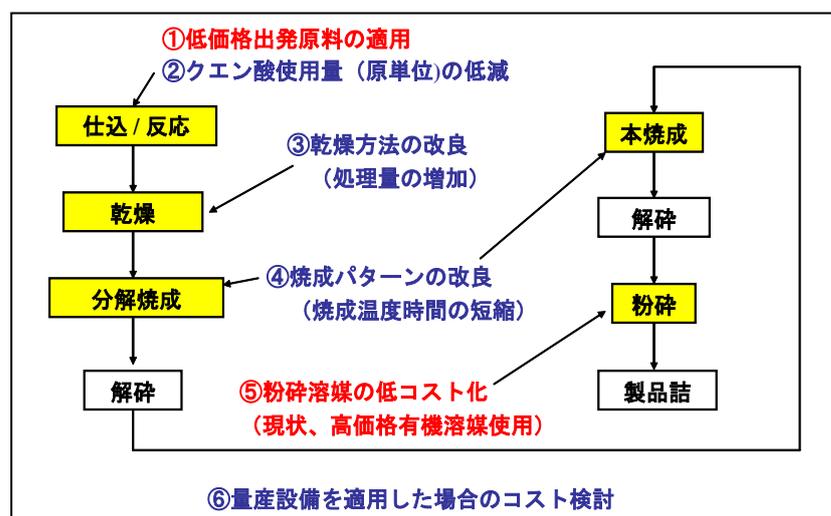


図 III-1.2.2-6 液相法工程フローおよび工程改善のポイ

① LSM、LSCM

LSM、LSCM は、La、Sr、Ca、Mn の低価格原料を用いてクエン酸塩法によって合成を行った。低価格原料中の微量成分は LSM、LSCM に残留することが蛍光 X 線

分析によって確認された。また、X線回折によって LSM 中に  $\text{MnO}_2$  が約 1wt% 確認された。LSM、LSCM（標準粒径）はスタックメーカーで評価したところ導電率、収縮率等に問題はなく、使用可能であることがわかった。また、現状高価格な有機溶媒を用いている粉碎工程で、低価格な水を溶媒として用いる試みについては、若干の Sr 溶出を確認したが組成ずれへの影響は小さく、結晶相も単一相であることから LSM への水粉碎は適用可能と判断した。LSM、LSCM（粒度調整）に関しては、粒度調整工程に大幅なコスト削減を試みたが、粒子強度が低くその向上が課題となった。

表 III-1.2.2-5 各材料の開発状況（液相法）

材料 (量産数量)	LSM・LSCM (1,000t/年)	LSCF (10t/年)	SSC (5t/年)	Ni-YSZ (1,000t/年)	Ni-セリア (100t/年)
低価格原料使用時の課題	微量成分	微量成分、 異相	微量成分	焼結性、 単斜晶	粗大粒子
工程改善時の課題	粒子強度	水粉碎での元 素溶出	水粉碎での元 素溶出	焼結性	問題なし

## ② LSCF

LSCF は、課題達成のために Fe 原料で最も低価格である酸化 Fe を用いて合成を行った。しかし、通常の焼成温度より高温で焼成しても酸化 Fe が反応せずに残留することが X線回折によって確認された。また、酸化 Fe が残留した LSCF の導電率は低く、空気極材料として使用することが困難であることがわかった。このような状況から酸化 Fe 原料での検討を中止し、従来のクエン酸 Fe と低価格 La、Sr 原料を用いて合成を行った。LSM 同様、低価格原料中の微量成分は LSCF に残留することを確認した。また、X線回折により  $\text{La}_2\text{CoO}_4$  が約 3wt% 確認された。導電率は従来の LSCF の 1/4 程度であったが焼結性が原因であることが判明した。工程改善では粉碎時の溶媒に水を試したが、Sr 溶出によって組成がずれることが分かり、現状では LSCF に水粉碎を適用することは困難であると判断した。低価格 Fe 原料については入手したので試作を進める予定である。粉碎溶媒については更なる検討が必要である。

## ③ SSC

SSC は、Sm、Sr の低価格原料を用いて合成を行った。他の材料と同様、原料の微量成分は SSC に残留することを確認した。また、X線回折により  $\text{SrCoO}_{2.5}$  を約 2wt% 確認した。水粉碎については LSCF 同様 Sr の溶出が確認され、適用は困難であると判断した。SSC はスタックメーカーにてセル作製し評価したところ、従来品と同様な性能が得られている。耐久性についても良好な結果となっている。

## ④ Ni-YSZ

Ni-YSZ については、課題達成するような低価格な Ni、Zr 原料の入手が困難で達成度が低くなっている。入手した低価格原料を用いて合成したところ、YSZ の一部が単斜晶であることが X線回折によって確認された。Y の分散を高めること、アニール処理することで解決することができたが、各工程で約 5% コストが上がるということがわかった。工程改善では水粉碎にて若干の単斜晶相が確認された。スタックメーカーで評価したところ、焼結性に改善の必要があることがわかった。

## ⑤ Ni-セリア

Ni-セリア（GDC）については、低価格な Gd、Ce 原料の入手、また水粉碎によって元素溶出、不純物相などが確認されなかったことから目標達成の見込みを得た。スタックメーカーでセル作製し評価したところ、初期性能は従来材料と同等であったが、耐久性が低いことが確認された。原因として Ni 粗大粒子が関係していると考えている。Ni 粗大粒子は工程改善によって、解消できることを確認し、目標コスト内に収まる見通しを得た。

### (c) 材料メーカーの開発における成果と課題

#### i. 成果

- ① 出発原料の共通化が達成できる見通しを得た。
- ② 固相法、液相法いずれの製法でも、各材料について目標コストを達成できる見通しを得た。
- ③ 固相法、液相法それぞれについて、製造工程共通化が達成できる見通しを得た。

#### ii. 課題

- ① 低価格原料に含まれる微量成分が導電率、焼結性、耐久性などに与える影響を評価し、許容値の把握、管理が必要である。
- ② 一部の材料については新規低価格原料の検討が必要である。
- ③ 製造工程に関して、粒度調整粉の高密度化、粉碎工程の改善、仮焼条件の調整（低温度化、時間短縮）が必要である。

### c. スタックメーカーによる材料評価、材料共通仕様化の検討

スタックメーカーにおける中間評価までの材料評価のステージを 3 段階に分けて設定し、各材料の進捗状況の共有化を図りながら、プロジェクトを遂行した。表Ⅲ-1.2.2-6 にスタックメーカーによる材料評価の進捗状況を示す。

表Ⅲ-1.2.2-6 スタックメーカーによる材料評価の進捗状況

		H21年度		H22年度		
		3Q	4Q	1Q	2Q	
空気極	LSM	◆2ndステージ 製造工程改善、使用容易性向上の検討				
	LSCM	◆2ndステージ 製造工程改善、使用容易性向上の検討				
	SSC	◆2ndステージ 耐久評価				
			◆3rdステージ LSM、LSCM組成共通化	◆3rdステージ SSC製造工程共通化		
	LSCF	◆1stステージ 技術課題整理、対策検討				
燃料極	Ni-YSZ	◆1stステージ 技術課題整理、対策検討				
	Ni-セリア	◆2ndステージ 耐久評価→原因調査と対策検討				

空気極材料については、LSM と LSCM は 2nd ステージで工程改善および材料使用容易性向上の検討が施された材料を評価中である。並行して、3rd ステージの組成共通化を検討している。また、SSC は 2nd ステージで材料の耐久性を評価中である。3rd ステージで LSM

と LSCM で検討された製造工程との共通化を検討する予定である。LSCF については、1st ステージであり、材料技術課題整理、対策検討を進めている。

燃料極材料については、Ni-YSZ については、1st ステージであり、材料技術課題整理、対策検討中である。Ni-セリアについては、2nd ステージで材料の耐久性を評価中である。経時的な電圧低下が認められているので原因調査と対策検討を進めていく予定である。

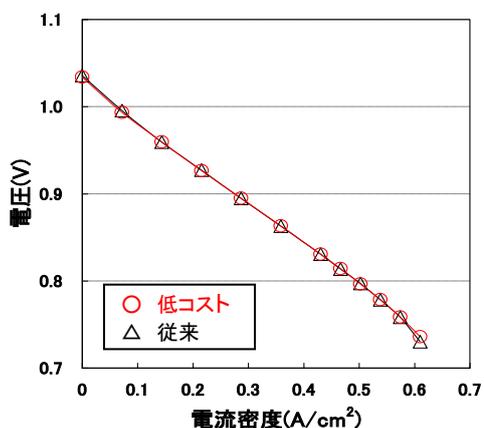
各々の材料ごとの詳細を以下で説明する。

## (a) 空気極材料

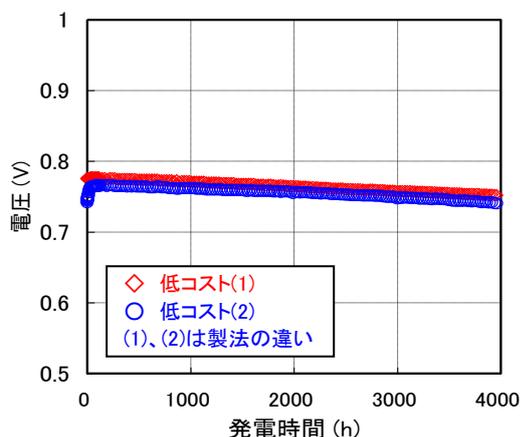
### i. SSC

固相法及び液相法で試作したSSCについて、スクリーン印刷法に適したスラリー作製条件を検討した結果、いずれの材料でも電極塗布は可能であった。LSGMC電解質との焼結試験では、SSCについては従来の焼成条件で焼結が可能であり、発電セル成型体を得ることができた。低コストSSCを空気極としたφ120mm円形平板形発電セルを作製し、水素を燃料として電気特性評価試験を行ない、従来の空気極材料を使用したセルと比較した。電解質、燃料極には従来の材料を用いた。図Ⅲ-1.2.2-7の電流電圧特性が示すように測定した範囲（最大燃料利用率85%）において、従来セルと特性に有意差は見られなかった。また、一定電流密度での連続運転を行ない、電圧の変化を調べた。図Ⅲ-1.2.2-8に示すように2枚のセルで実施している連続運転は約4,000時間を経過しているが、どちらも顕著な電圧低下は見られていない。

材料中に見られた微量成分は、焼結後のSSC空気極中でも検出された。作製初期及び、運転1,000時間後のセルについて分析した結果、微量成分の偏析や運転による明確な移動などは見られなかった。現在継続している耐久試験についても終了後に分析して変化を調べることを予定している。また、LSM、LSCMとの製造工程共通化による低コスト化を検討する。



図Ⅲ-1.2.2-7 低コスト SSC 及び従来 SSC を使用したセルの電流電圧特性の比較



図Ⅲ-1.2.2-8 低コスト SSC 使用セルの耐久性試験経過

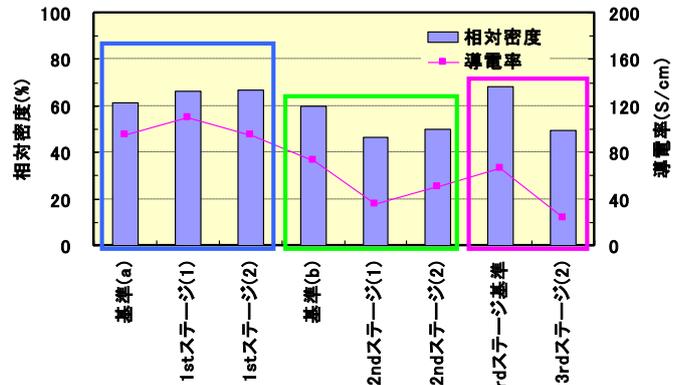
### ii. LSM、LSCM

1st ステージとして一次試作材料の組成 (XRF)、線膨張挙動、角柱状ペレットでの導電率を計測した結果、低コスト材料は出発原料の影響により、従来の材料では検出されない微量成分が含まれることが分かったが、線膨張挙動、導電率には問題は認められなかった。このため一次試作材料(標準粒径粉)に従来使用している基準の粒度分布調整粉を混合し、セル形状の膜での導電率を計測した結果を図Ⅲ-1.2.2-9 に示す。低コスト標準粒径粉を適

用した試作品の導電率（1st ステージ(1)、(2)）は、標準粒径粉、粒度分布調整粉共に従来材料を使用した膜（基準(a)）と同等であるため、セルスタックに適用可能と判断した。

2nd ステージとして材料使用容易性を向上するため、標準粒径粉、粒度分布調整粉ともに低コスト材料を使用し導電率を計測した結果（図Ⅲ-1.2.2-9）、導電率が大幅に低下した（2nd ステージ(1)、(2)）。空気極膜の相対密度が低下しているため、低コスト粒度分布調整粉の組織を観察した結果、空孔が多く認められた。このためセルスタックに適用するには、粒度分布調整粉の密度を高め、導電率を高める必要がある。

3rd ステージとして共通仕様化の可能性を検討するため、LSCM と LSM の共通組成化について検討した。高純度 LSM の標準粒径粉と粒度分布調整粉を独自に開発し、導電率を計測した。その結果、高純度粉であれば導電率の低下は 10%程度のため、共通組成にできる可能性が得られた。しかし、低コスト材料を使用すると導電率が低下するため、LSCM 同様、粒度分布調整粉の密度を高める必要がある（図Ⅲ-1.2.2-9）。今後は、SSC との材料製造工程の共通化について検討し、低コスト化を推進する。

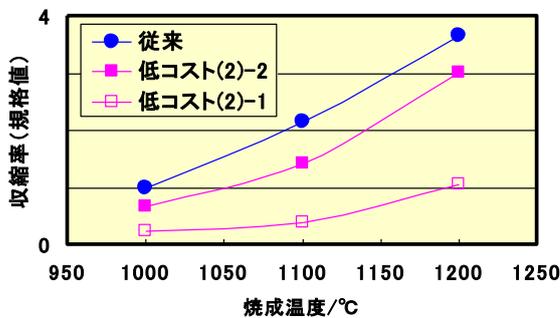


基準(a),(b)：標準粒径+粒度分布調整粉ともに従来材料  
 1stステージ：低コスト標準粒径+従来の粒度分布調整粉  
 2ndステージ：標準粒径+粒度分布調整粉ともに低コスト材料  
 3rdステージ基準：高純度LSM  
 3rdステージ(2)：製法(2)の低コストLSM  
 焼成温度：基準(a)>基準(b) = 3rdステージ基準

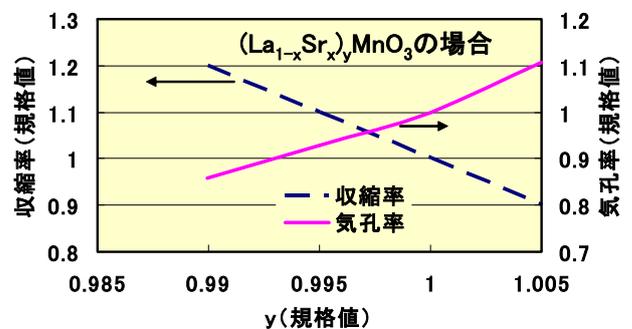
図Ⅲ-1.2.2-9 LSCM と LSM のセル形状の膜での導電率計測結果

### iii. LSCF

一次試作粉でセルを試作したが、膜の剥離が観察された。焼結特性を従来品と比較したところ、収縮率が低いことが判明した（図Ⅲ-1.2.2-10）。LSM 開発時のデータから、焼結特性が低い要因として A サイト過剰組成 ( $y > 1$ ) になっていることが示唆された（図Ⅲ-1.2.2-11）。そこで、微量成分を調査した結果、表Ⅲ-1.2.2-7 に示すように、従来品と比較して低コスト品は Ce、Ba が多いことを確認した。



図Ⅲ-1.2.2-10 LSCF 材料の焼結特性比較



図Ⅲ-1.2.2-11 LSM (y 値) と焼結特性

Ce、Ba は、LSCF:  $(La_{1-x}Sr_x)_y(Co_{1-z}Fe_z)O_3$  の一般式で表した場合、La サイト、すなわち、A サイトに固溶されるので、La と Sr の仕込み組成を  $y=1$  とした場合、Ce、Ba の影響で  $y>1$  になり、A サイト過剰組成となる。これが焼結特性を低下させた要因と推定している。A サイトに置換される微量成分を考慮した配合組成を検討中であり、微量成分含有に伴う課題が明らかになった。

表Ⅲ-1.2.2-7 LSCF の微量成

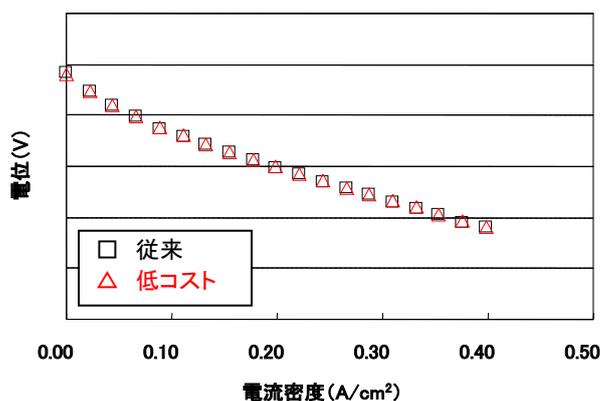
	Ce	Ba	S	Ca	Si
LSCF低コスト品	3000	6000	600	700	100
LSCF従来品	-	-	500	-	-
低価格La出発原料	9500	-	-	1400	-
低価格Sr出発原料	-	30000	900	700	-
低価格Co出発原料	-	-	1700	-	-
低価格Fe出発原料	-	-	600	-	100

(b) 燃料極材料

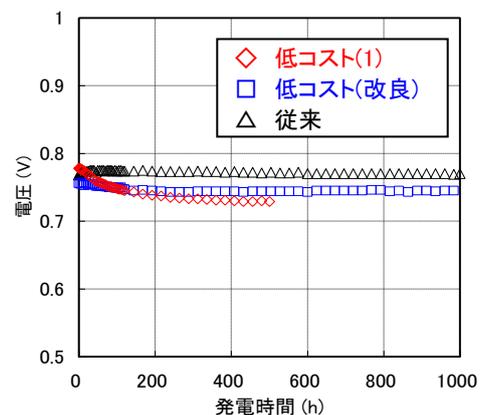
i. Ni-セリア

固相法及び液相法で試作した Ni-セリア-1、2 についてセルを試作したところ、いずれの材料でもセルの作製が可能であるとわかった。試作されたセルの性能評価では、図Ⅲ-1.2.2-12 に示すように、従来材料を用いた場合と有位差のない電流電圧特性が得られた。これより、Ni、セリアの出発原料の共通化の可能性が見出された。

低コスト Ni-セリア-2 材料についてはφ120mm 円形平板形発電セルを用いて一定電流密度での連続運転を行なった。初期の試作セルでは従来材料を用いた場合と比べて電圧低下率が高い傾向が見られたが、電極作製時に材料の粉砕工程を加えたところ、図Ⅲ-1.2.2-13



図Ⅲ-1.2.2-12 低コスト Ni-セリア-1 及び従来材料を使用したセルの電流電圧特性の比較

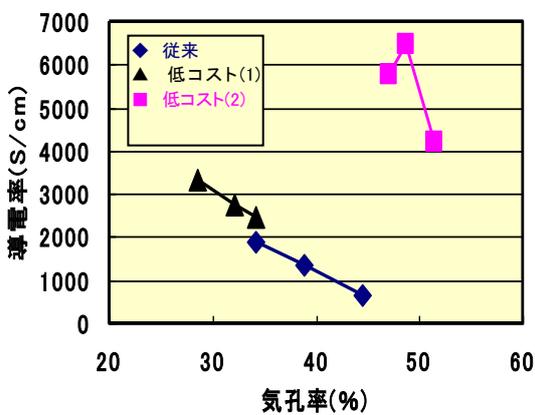


図Ⅲ-1.2.2-13 低コスト Ni-セリア-2 使用セルの耐久性試験経過

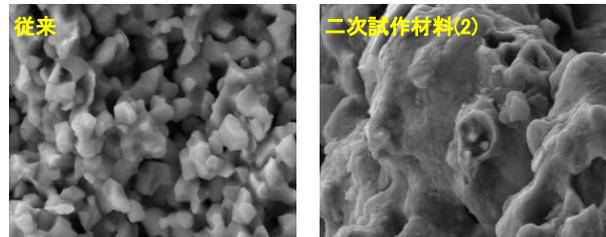
に示すように改善の傾向が見られている。

## ii. Ni-YSZ

一次試作粉で、異結晶種のジルコニア相の生成、導電率のばらつきと焼結特性に課題が認められた。材料メーカーで改良を施し、再度試作した。その結果、導電率が異常に高いものが得られた(図Ⅲ-1.2.2-14)。組織観察をした結果、低価格出発原料から作製したNi-YSZは、Ni粒子が熔融しYSZ粒子を覆う構造になっていることが分かった(図Ⅲ-1.2.2-15)。低コストNi-YSZ材料の微量成分を分析した結果、表Ⅲ-1.2.2-8に示すように、400ppm程度のSを含んでいることが判明した。NiはSを含むとNi-S共融物を比較的低温で生成する(図Ⅲ-1.2.2-16)可能性がある。今回の事象は、微量成分のSが含有することにより、還元時にNiの熔融が生じたものと示唆された。微量成分に伴う課題が確認されたので、原料由来の微量成分について調査を行う予定である。



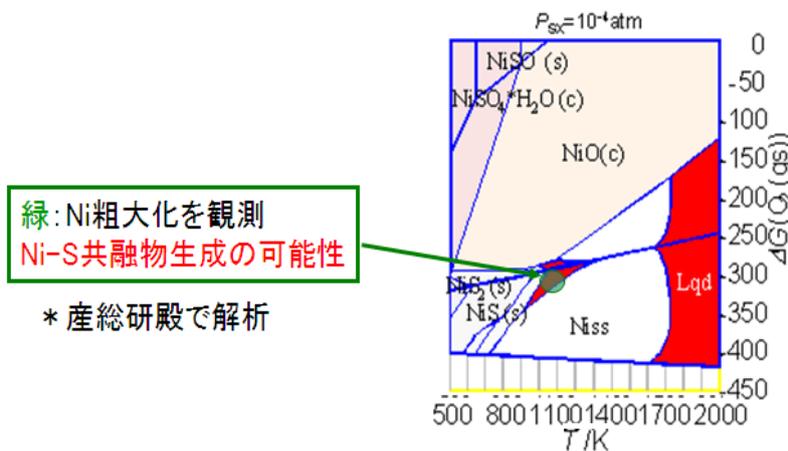
図Ⅲ-1.2.2-14 Ni-YSZ 導電率特性



図Ⅲ-1.2.2-15 Ni-YSZ の還元後微構造

表Ⅲ-1.2.2-8 Ni-YSZ (二次試作材料の微量成分の分析結果(ppm))

	Ca	S	Al	Fe
Ni-YSZ 試作品	600	400	200	200



図Ⅲ-1.2.2-16 Ni-S-O-H(-C)系の化学ポテンシャル図  
( $P_{H_2O}=0.5\text{atm}$ ,  $P_{CO_2}=0.25\text{atm}$ ,  $P_{Sx}=10^{-4}\text{atm}$ )

### (c) スタックメーカーにおける成果と課題

#### i. 空気極材料の成果

- ① SSC は初期性能、耐久性共に良好な結果が得られている。LSM、LSCM との製造工程共通化を検討する。
- ② LSM と LSCM は組成及び出発原料の共通化を実現できる可能性が示された。

#### ii. 燃料極材料の成果

- ① Ni-セリア系は初期性能が良好であり、出発原料の共通仕様化の可能性が見出された。

#### iii. 課題と対策

- ① LSCF の組成ずれが焼結特性に影響を及ぼすと共に、Ni-YSZ 中の微量成分（硫黄）による異常粒成長が観察されたため、微量成分の焼結特性、耐久性に対する影響を評価すると共に、許容値把握と管理が必要である。

### (4) 目標の達成度と成果の意義

得られた成果と目標に対する達成度および今後の課題を表Ⅲ-1.2.2-9 に示す。

表Ⅲ-1.2.2-9 成果のまとめ、目標に対する達成度と今後の課題

中間目標 (H22 年度)	成果	達成度	課題
各セルスタック開発機関がセルスタックを作製できる原料・部材の共通仕様を提案する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空気極の LSM と LSCM、燃料極の Ni-セリア系で共通仕様化の可能性が得られた。</li> <li>・SSC は初期性能、耐久性共に良好、Ni-セリアの初期性能は良好</li> </ul>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LSM、LSCM の製造工程の SSC への展開</li> <li>・LSM、LSCM の粒度分布調整用材料の密度と強度の向上</li> <li>・Ni-セリア系の耐久性低下要因の究明</li> </ul>
セル製造及びスタック化コスト等を分析して最終目標を達成するための原料・部材のコストを見積る。	スタックコスト 5 万円/kW 以下が実現可能な空気極・燃料極材料の基本仕様を定めることができた。	◎	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材料の更なる製造工程改善を行い、目標コストの実現可能性を検討する。</li> </ul>
低コスト化に向けた技術開発課題を抽出する。	製造条件 (LSCF における微細粒子や組成ずれ) や微量成分 (Ni-YSZ) の課題が抽出された。目標コストを実現する材料についての技術であり、低コストセルスタック開発方針に則っている。	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・微量成分の影響評価と閾値の検討</li> <li>①Ni-YSZ における Ni 粒成長 (微量 S の影響)</li> <li>②LSCF における組成ずれ →他の材料に対する影響評価</li> <li>・製造条件の見直し→LSCF における微細粒子発生の抑制</li> </ul>
低コストセルスタック開発方針を策定する。		○/ △ (LSCF, Ni-YSZ)	

◎：大幅達成、○：達成、△：一部達成

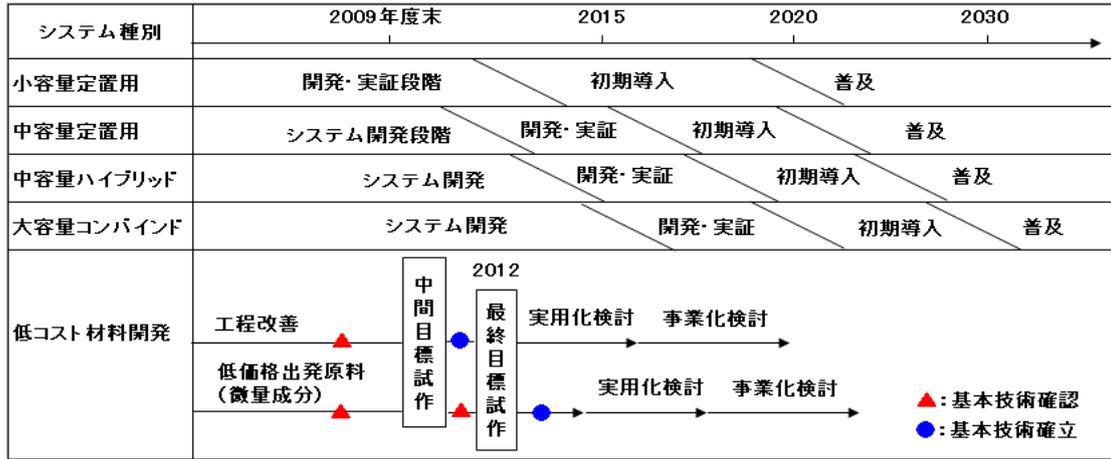
得られた成果の意義を以下に示す。

- ① スタックメーカー間で共通化が図られた世界初の成果である。
- ② 価格競争力をもつ材料仕様が明らかになり、材料メーカー、スタックメーカーに広く市場参入の可能性が開かれた。
- ③ 広い動作温度 (中温・高温)、種々のスタック構造 (円筒・平板) を特徴とする広範囲の SOFC に適用可能であり、高い汎用性をもつ。
- ④ 5 万円/kW の見込みが得られ、他の競合技術に対して優位性がある。

### (5) 成果の最終目標の達成可能性

工程改善については、これまでの検討結果から最終目標コスト達成への見通しが得られている。低価格出発原料に起因する微量成分の影響は、LSCF、Ni-YSZ で顕在化した但他的材料でも共通している可能性が高い。この課題については、大学/産総研と連携し基礎的な課題を解決することで、最終目標は達成可能と考える。

(6) まとめ及び課題、事業化までのシナリオ



SOFC システムを実用化することで、分散電源から事業用まで幅広い用途にわたる高効率発電装置の市場が創出されると共に、素材から組立にいたる幅広い産業の雇用拡大に貢献する。

## 2. 実用性向上のための技術開発

### 2. 1 運用性向上のための起動停止技術開発

#### 2. 1. 1 運用性向上のための起動停止技術開発（高温円筒縦縞型）

##### (1) 事業概要

SOFC は高い発電効率に加えシンプルな発電システムを構築することができ、高効率な分散型電源として期待されている。

これまで SOFC は、起動に大きなエネルギーが必要であることから起動停止や大きな負荷変動を伴わないベースロード負荷に対する運転に好適とされ、定負荷連続運転における性能評価を中心に開発を行ってきた。前事業において、発電効率 49%(HHV)、連続運転 5000 時間で電位低下率 1%/1000H 程度の耐久性能を実証した。実用化に際しては、夜間や週毎の定休日の低負荷運転やメンテナンスに伴う計画停止があり、耐起動停止特性が必要である。前事業で起動停止予備試験を行ったが、劣化が大きいことが確認され、起動停止特性の改善が必要と考えられた。

前事業での課題を解決するべく、本事業では実用上発生する起動停止モードとして冷起動停止（Cold Start-up and Stop ⇒CSS）および暖起動停止（Hot Stand-by and Start-up ⇒HSS）における熱サイクルの影響を評価し、熱衝撃の影響を受けにくい起動停止条件を確立する。同時に起動停止に伴う性能低下要因の検証・定量化を行い効率的かつ効果的な改良を行い、熱衝撃の影響を受けにくいスタック・モジュール構造を開発する。

##### (2) 目標

<中間目標>

CSS、HSS を含めた起動停止を合計 50 回程度実施し、起動停止 250 回でスタックの電位低下率が 10%以下を見通せるモジュール構造を開発する。

電位低下率が 10%以上と推定された場合、モジュールにおける技術課題を明確化し、最終目標を達成させるための対策を立案する。

<最終目標>

5~10kW 熱自立モジュールにおいて、3000H~10000H の運転を行い、起動停止回数 250 回の見通しを得るとともに耐久性 4 万時間（電圧低下率 0.25%/1000H）の見通しを得る。

##### (3) 事業成果

###### a. 開発の進め方

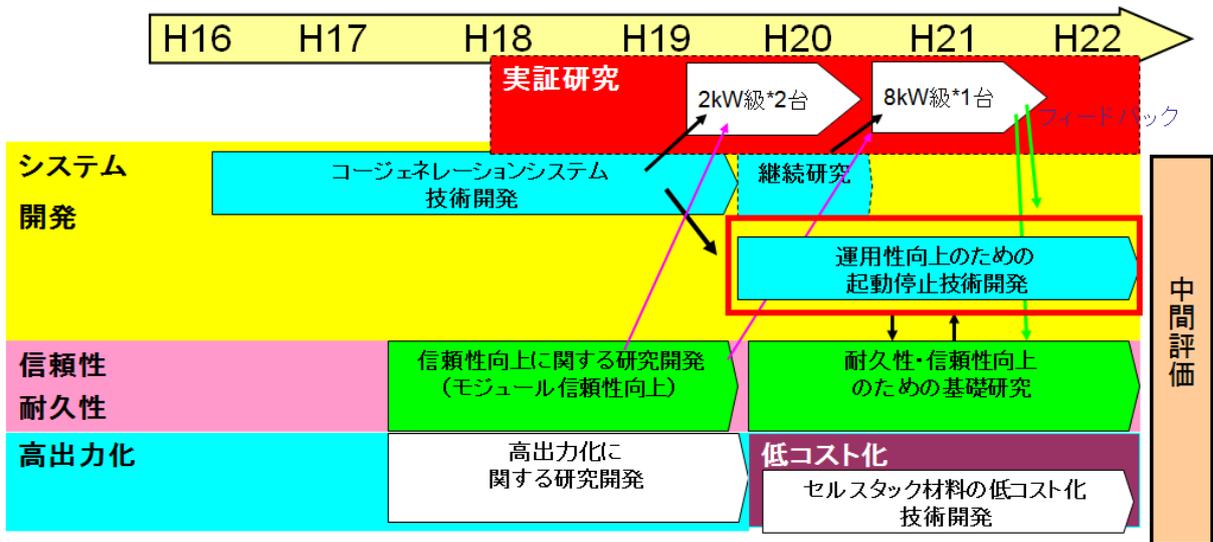
###### (a) 研究体制

本事業は、横川教授の下、NEDO から TOTO に委託された事業である。

###### (b) 委託事業の位置づけ

図Ⅲ-2.1.1-1 に委託事業の位置付けを示す。前事業（～H19 年）では、コージェネレーションシステム開発、信頼性・耐久性開発、高出力化に取り組み、H20 年からは前事業で明確になった技術課題に着手してきた。本事業は、システム開発で主要技術課題となった起動停止に関する技術開発を実施していく。また、前事業の成果を盛り込み、実証研究を通じてシ

システムの実証を H19、H20 年に行い、ここで得られた重要技術課題をフィードバックし、本事業の中で着手し、効率良い開発体制の中で実用化にむけた開発を推進した。



図Ⅲ-2.1.1-1 委託事業の位置づけ

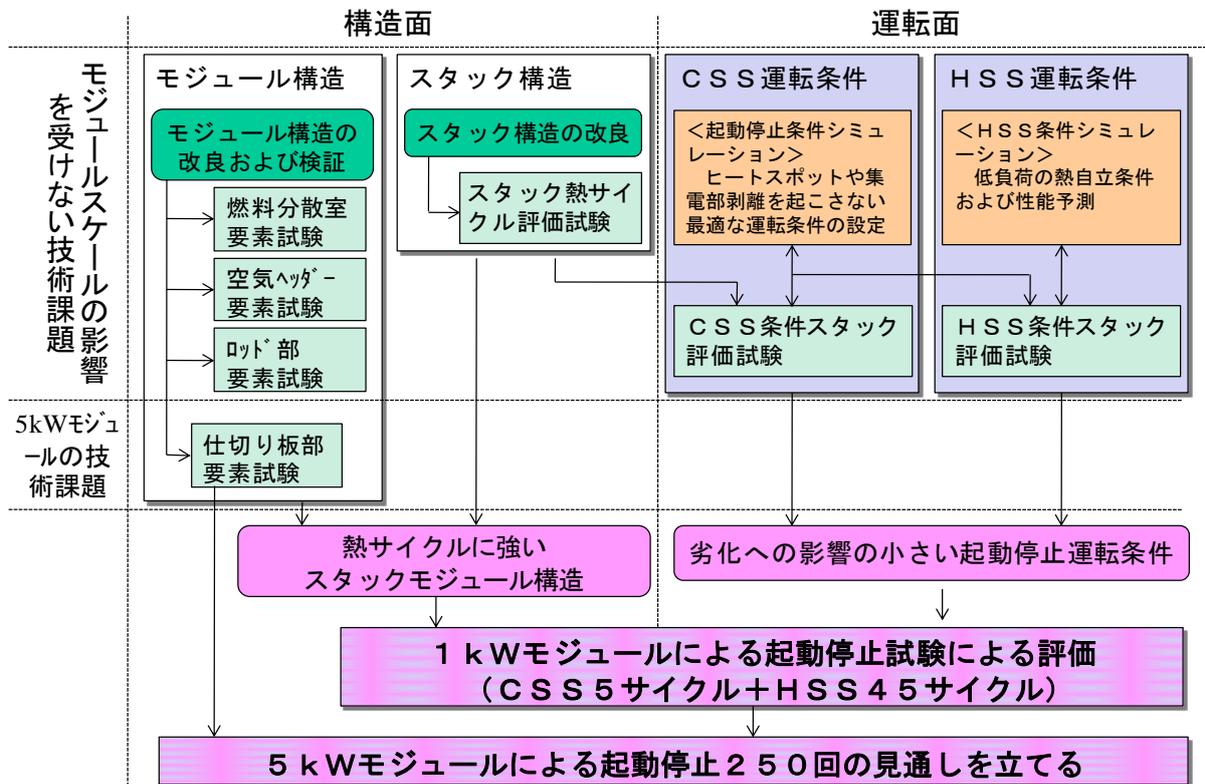
(c) 本事業の進め方

図Ⅲ-2.1.1-2 に前事業を受けての開発の進め方を示す。セル、スタック、モジュールに分けて劣化要因の推定、切り分けを行った。その結果、長時間連続運転に伴う劣化の主要因はセル、起動停止に伴う劣化の主要因はスタック、モジュールであることが判明した。そこで、本事業では、スタック、モジュールの開発を推進することとした。なお、セル改善は耐久性・信頼性向上のための基礎研究で推進し、図Ⅲ-2.1.1-1 に示すように事業ごとに連携し効果的な開発を実施した。

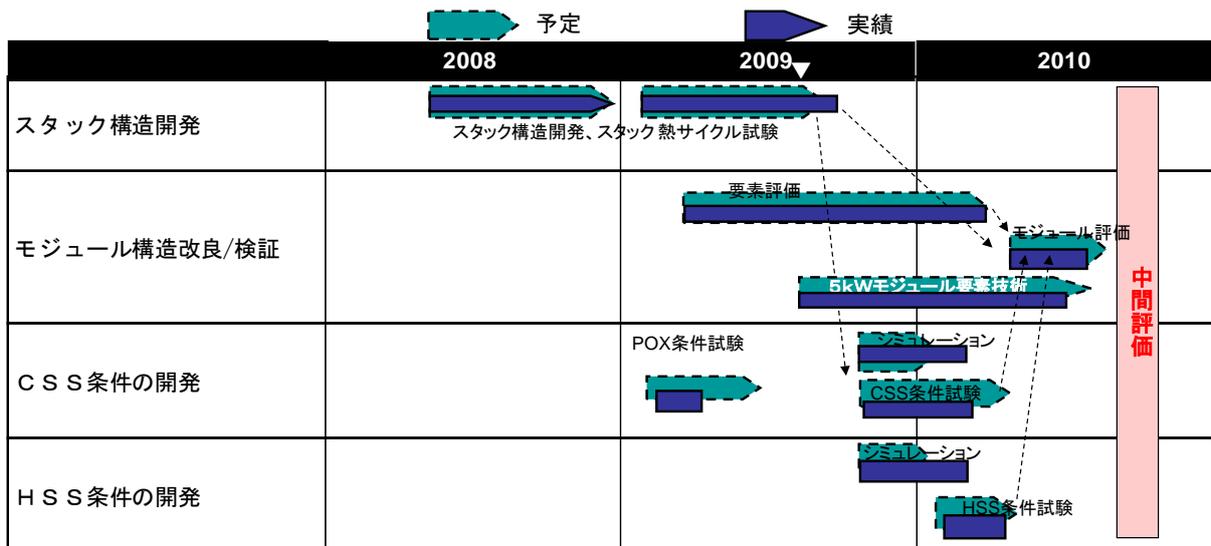
図Ⅲ-2.1.1-3 に本事業での課題解決の手順を示す。まず、基本構成単位となるスタック構造の改良を行い、改良したスタックを用いて CSS・HSS 運転条件の設定を行う。運転条件の設定にはシミュレーションを併用し最適な条件設定を行うこととする。また平行してモジュールの構成する各部位に対して、要素試験を実施し改善を図り、熱サイクルに強いモジュール構造を開発する。仕切り板部に関してはモジュールスケールの影響を受けやすい要素であるため、5kWスケールで検証を行う。これらのスタック・モジュール構造により 1kWモジュール(3スタックモジュール)を製作し、設定した最適な運転条件で CSS5 回+HSS45 回の起動停止試験により性能評価を行う。この結果と仕切り板の 5kWスケールの要素試験の結果から 5kWモジュールによる起動停止 250 回の見通しを立てる。本事業における中間評価までの研究スケジュールは図Ⅲ-2.1.1-4 に示すとおりである。予定に対して、概ね計画通りの実績となっている。



図Ⅲ-2.1.1-2 前事業を受けての開発の進め方



図Ⅲ-2.1.1-3 課題解決のアプローチ

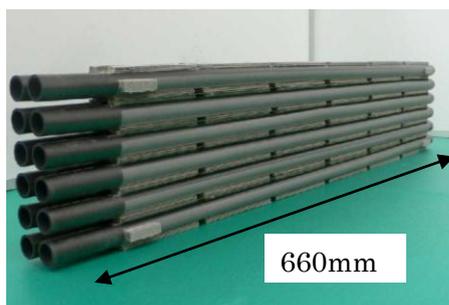


図Ⅲ-2.1.1-4 研究スケジュール

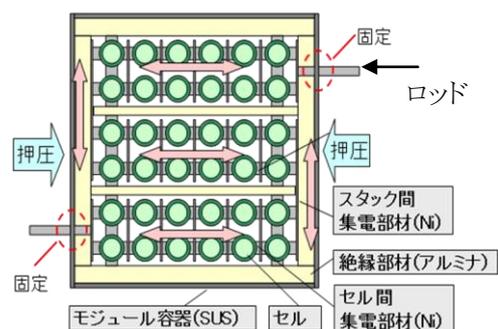
## b. スタック構造の開発

### (a) 従来のスタック構造の課題

図Ⅲ-2.1.1-5 に従来のスタック構造を示す。1 スタックは全長 660mm のセルが 12 本で 2 並列\*6 直列で構成され、セルは熱衝撃性に優れた円筒縦縞型デザインを採用している。複数のセルを集電部材で予め焼き付け接続し、このスタックをモジュール容器内に収納し、スタック間には集電材（主として Ni 板）を運転時の熱と押圧で焼き付け接続している。同構造では、起動停止に伴う熱サイクルにより部材間の熱膨張係数の違いにより、起動～運転～停止の過程でスタックの集電部材の接合部に引張り or せん断応力が発生し、焼き付けされた接合部分の強度を超えた場合集電不良による性能低下に至る（図Ⅲ-2.1.1-6）。さらに出力UPのためスタック数を増加させると部材間の熱膨張係数の違いによる変位量が大きくなり、スタックに加わる応力が増大し、スタック間またはセル間の接合部のダメージがより顕著となる。



図Ⅲ-2.1.1-5 従来のスタック構造



図Ⅲ-2.1.1-6 モジュール内の集電部材に発生する応力

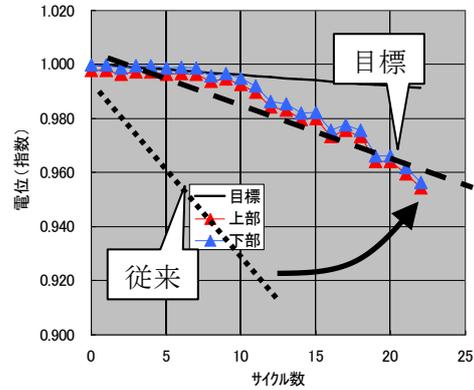
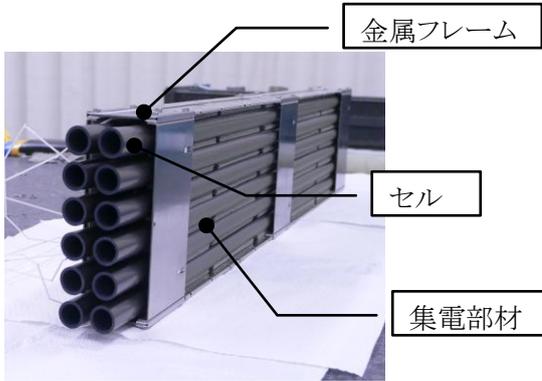
### (b) スタック構造の開発

従来のスタック構造の集電部の課題を解決するために、セルおよび集電部材を金属フレームで囲み固定化させたフレーム固定スタック構造を考案した。同構造では、以下のような機能を発揮する。

- ① 2 並列 6 直列の小規模範囲で集電に必要な応力を完結させるので、集電部材に発生

する応力を小さくかつ安定させることができる。

- ② ロッドやスタック間集電部材からスタックに伝わる応力を金属フレームで支持するため、出力アップのためモジュール内のスタック数を増加させても集電部材に伝わる応力は変わらない。また、セル集電部材の接合部に粘着Niペーストを使用することで、セルと集電部材間の接合強度を改善し、密着性を改善させた。



図III-2.1.1-7 フレーム固定スタック

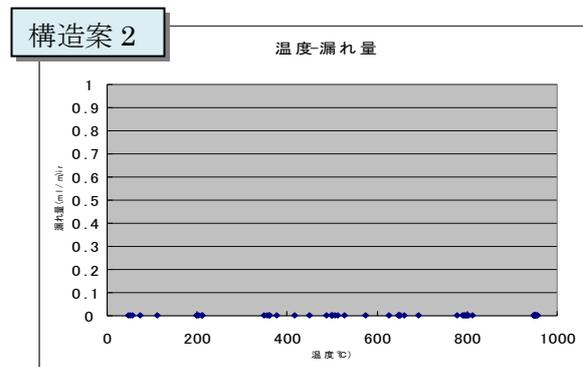
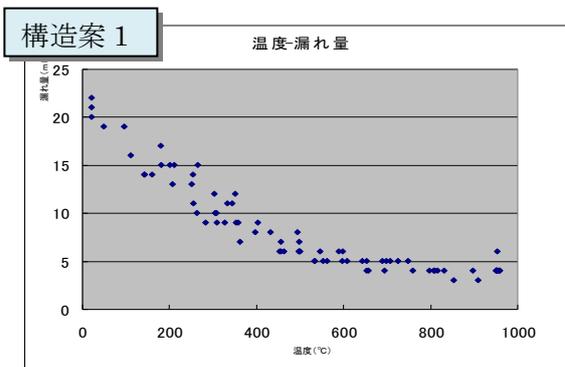
図III-2.1.1-8 フレーム固定スタック 熱サイクル試験結果

(c) スタック熱サイクル評価

フレーム固定スタックを電気炉で20サイクルの発電試験を行った。定格条件における電位の推移を図III-2.1.1-8に示す。従来のスタック構造と比較して、熱サイクルに伴う電位の低下は大幅に改善され、CSS目標の0.2%/cycleを達成する見通しが立った。

c. モジュール構造の開発

モジュールを構成する各部位について熱サイクル要素試験を行い、構造案1と構造案2を定量的に比較評価し、目標とする熱サイクル性能の見通しを立てることとした。3サイクル試験を行い、漏れ量をチェックした。図III-2.1.1-9、図III-2.1.1-10に示すように、構造案2とすることで漏れ量を大幅に低減させることができた。構造案1の漏れ量を算出したが性能への影響が出ないレベルのものであることが確認された。構造案2では絶縁耐久性、部品点数増に伴うコストアップの課題があったため、今回の1kWモジュール試験では、構造案1で試験を実施することとした。



図III-2.1.1-9 構造案1 温度と漏れ量の関係

図III-2.1.1-10 構造案2 温度と漏れ量の関係

#### (a) 仕切り板構造の開発 (5kW モジュール技術開発)

5kW サイズのモジュールを用いて 2008 年度に実証試験を行った。その結果、出力増加途中でセル損傷による性能低下が発生した。その原因を調査した結果、仕切り板の熱サイクルにおけるシール性能向上が、5kW サイズでの重要技術課題であることが明らかになった。そこで、仕切り板構造検討を 5kW サイズの模擬モジュール試験で行った。試験は、従来構造の仕切り板、改良構造 1、改良構造 2 および 1kW サイズの従来構造の 4 つを実施した。5kW モジュールおよび 1kW モジュールの同寸容器に SUS 管で構成した模擬セルスタックおよび仕切り板をセットし、電気炉内で室温⇄920℃の熱サイクルを与えた。燃料側に H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> を供給し、仕切り板上面の温度変化および発電室内の圧力変化を観測して仕切り板の劣化を評価した。その結果、改良構造 2 および 1kW サイズの従来構造では圧力および温度変化の観点で問題ないことを確認した。ただし、改良構造 2 は、複雑な構造のため、施工不良による機能低下が生じる可能性があることが示唆され、今後解決すべき課題があることも判明した。

#### d. CSS 運転条件の確立

本事業で開発したフレーム固定スタックを用いて、CSS 運転条件と性能低下の関連を評価した。評価は 1 スタックを用いて行った。実際のモジュールを模擬するべく、モジュールと同一構造を採用し、後述する 1kW モジュール試験と同等の温度分布や昇温速度が再現できるように試みた。

##### (a) アノードガス条件

アノード側は、都市ガス、H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub> の混合ガスを用いて、改質器で POX ガス（部分酸化ガス）を模擬したガスを生成した。

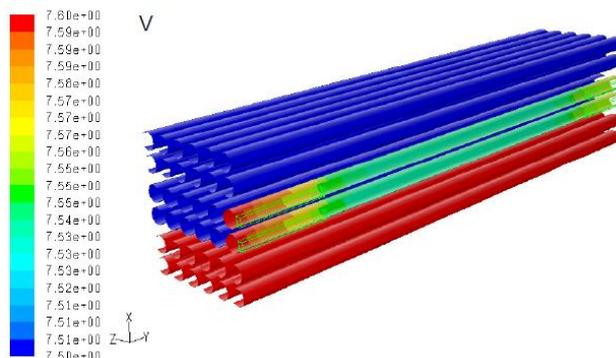
##### (b) CSS 試験条件および結果

フレーム固定スタックを搭載した 1 スタックモジュールにより、起動/停止における加熱/冷却の熱量を変化させ、目標を達成する条件の見極めを行った。起動条件、停止条件ともに 3 条件ずつ実施し、各条件とも 3 サイクル試験を行い、その平均電位低下率で評価した。その結果、起動/停止ともに加熱/冷却の熱量を増加させることで劣化速度が速まる傾向が見られたが、起動条件では一番条件の甘いもの、停止条件では 3 条件すべてで CSS 目標を達成できる見込みがあることがわかった。

##### (c) 性能低下の要因分析

起動条件試験では、厳しい条件の 2 つが性能低下していた。解体の結果、スタック端部の集電部材で剥離（全面積の 30%程度）が認められ、集電抵抗を高めていることが示唆された。そこで、スタック端部の 1/3 が集電不良した状況をシミュレーションした（図Ⅲ-2.1.1-11）。その結果、性能低下率とほぼ一致する結果が得られ、起動条件試験でのスタック性能低下は端部の集電抵抗増によるものと推測された。さらに、起動停止の際に集電部材の接触不良が発生するメカニズムを明らかにするために、起動および停止時のモジュールの昇温・降温過程をシミュレーションで評価した。その結果、スタックを構成する部材間で 100~130℃程度の温度差が生じ、高温強度を考慮した応力の値からセルと集電剤で剥離が生じる可能性があることがわかった。そこで、応力の発生を抑えるような運転条件を設定し再度シミュレーションで算出した。その結果、問題ないレベルの条件を設定することができ、本条件を CSS

運転条件に採用することとした。

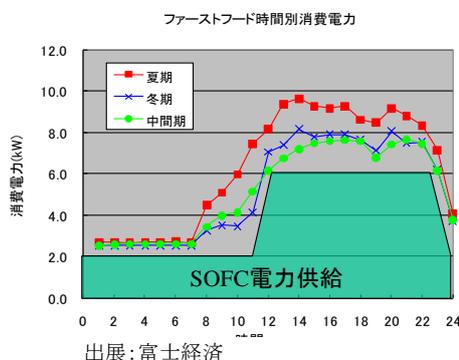


図III-2.1.1-11  
スタック端部 1/3 接触不良時の電位分布

## e. HSS 運転条件の確立

### (a) 経済的な運転条件の設定

HSS の条件を設定するために、小規模店舗などの業務用途で夜間および休日における電力需要を調査した。図III-2.1.1-12 にファーストフード店における 1 日の時間別消費電力を示す。季節による差を考慮して昼間の需要のベース電力と夜間のベース電力を比較すると夜間は約 1/3 の電力需要となる。次に 1/3 負荷と 0 負荷のときの発電効率を算出した。定格でのシステムの発電効率 AC HHV40%として年間に CSS5 回、HSS45 回行われた場合、HSS で 1/3 負荷 (AC HHV35%) で運転と AC 0kW で運転したケースの年間平均発電効率を比較した。その結果、1/3 負荷運転の方が 2%程度経済的であることがわかり、本試験での HSS 運転条件を 1/3 負荷に設定することとした。



図III-2.1.1-12  
ファーストフード時間別消費電力

### (b) HSS 試験結果

設定した HSS (1/3 負荷) に至る運転条件が性能に及ぼす影響を、1 スタックモジュールにより評価した。試験の結果、負荷上昇時において、燃料を先に多く流すパターンでの負荷変動試験が望ましいと判断した。

## f. スタックモジュール試験

前記試験で設定した CSS、HSS 条件で 1 スタックモジュールでの起動停止試験を行った。CSS および HSS 試験結果を図III-2.1.1-13、図III-2.1.1-14 に示す。

### ① CSS 運転

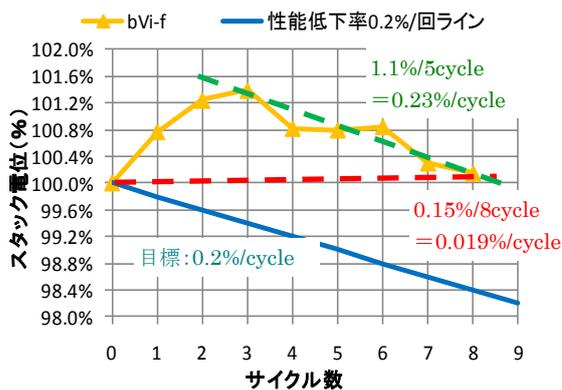
8cycle 実施し、初期に対して電位低下は認められなかった。3cycle 目で電位がピー

クとなっており、3cycle~8cycle で算出すると 0.23%/cycle であり、ほぼ目安としている目標どおりの結果であった。

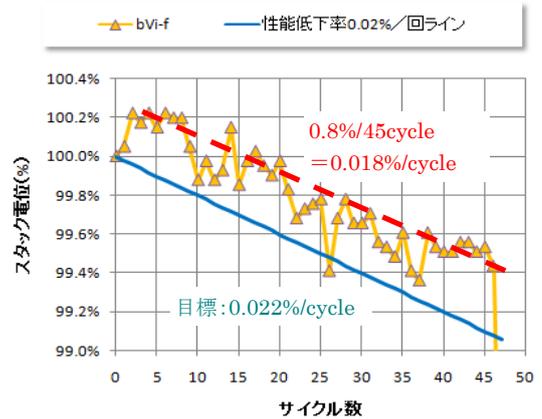
## ② HSS 運転

45cycle=416H での連続運転による性能低下:0.5% (1.3%/1000H) を差し引くと、HSS による性能低下は、0.3%/45cycle = 0.007%/cycle であり、目標値 0.02%/cycle を上回る結果が得られた。

以上のように1スタック試験で、設定した CSS、HSS 運転での電位低下の目標を達成できたので、1kW (3スタック) モジュールで検証することとした。



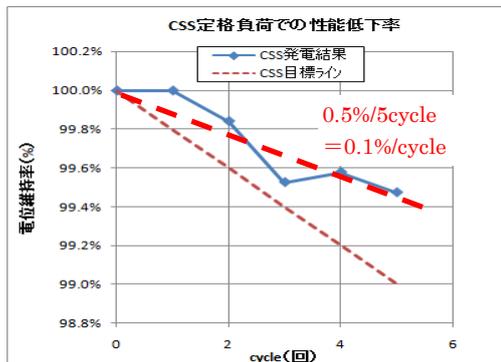
図Ⅲ-2.1.1-13 CSS 定格時の性能低下率



図Ⅲ-2.1.1-14 HSS 定格時の性能低下率

## g. 1kW モジュール試験

前述した改良スタックで3スタックを直列に並べ、上述した開発を施した1kWモジュールを製作した。前記、1スタックモジュール試験と同様の昇降温条件でCSS5回、HSS45回の試験を行った。図Ⅲ-2.1.1-15にCSS、図Ⅲ-2.1.1-16にHSSでの電位低下率を示す。CSS5cycleでは、電位低下率が0.1%/cycleであり、目標の性能低下率を達成した。一方、HSSでは、電位低下率が0.083%/cycleであり、目標とする低下率0.02%/cycleを下回る結果が得られた。現在、解体し原因究明中である。



図Ⅲ-2.1.1-15 CSS 定格時の性能低下率



図Ⅲ-2.1.1-16 HSS 定格時の性能低下率

## h. 研究成果まとめと達成度

表Ⅲ-2.1.1-1に研究成果のまとめと達成度を示す。スタックおよびモジュール構造の開発、CSSおよびHSS運転条件を設定し1スタックモジュール試験では目標達成できたが、1kWモジュールで一部目標達成できていない状況である。総合評価を△としている。

表Ⅲ-2.1.1-1 研究成果のまとめと達成度

項目	成果のまとめ	達成度
スタック構造の開発	フレーム固定スタックを考案し、CSS 0.2%/cycle の見通しを得た。	○
モジュール構造の開発	モジュールの各構成要素の耐熱衝撃性を評価・改良し目標達成の見通しを得た。	○
5kW モジュール要素技術開発	熱サイクル下でもセル周りの気密を維持する仕切り板構造を検証した。	○
CSS 条件の設定	シミュレーションを併用し集電部の接触不良を回避する運転条件を設定した。	○
HSS 条件の設定	経済性の高い HSS 条件を設定し、0.022%/cycle の見通しを得た。	○
1 スタックモジュール評価	上記構造・運転条件において、CSS 9cycle+HSS 45cycle を実施。目標達成。	○
1kW モジュール評価	上記構造・運転条件において、CSS 5cycle の目標は達成したが、HSS 45cycle において目標を下回り、低負荷運転時の課題を抽出した。	△
総合評価	1 スタックモジュール試験で CSS・HSS を含めた起動停止 50 回を行い、電位低下率 10%以下の達成見通しを得た。1kW モジュールにおいて HSS における課題抽出。	△

◎：大幅達成、○：達成、△：一部未達、×：未達

#### (4) 成果のまとめおよび意義

成果のまとめと意義は以下のとおりである。

- ① 定格の 1/3 負荷の HSS 状態においても発電効率 40%HHV の高効率を達成できる見通しが立ち、かつ性能低下率が低いことを示せた。この成果は、起動停止を伴う業務用途の施設において年間平均発電効率で競合技術に対して十分な優位性を確保することができる。
- ② 業務用タイプの SOFC では、従来、一定負荷のベースロードへの適用を想定していたが、今回の成果により、システムを昼夜・休日で大きく負荷が変動する市場への拡張が可能となった。
- ③ 熱サイクルの影響を小さくする運転技術は、SOFC 起動停止における共通の課題であり、今回の成果は汎用性がある。

#### (5) 最終目標の達成までの課題と対策の方向性

最終目標を達成するための課題とその対策の方向性を以下に示す。最終目標は、5～10kW 熱自立モジュールにおいて、3,000～10,000 時間の運転を行い、起動停止回数 250 回の見通しを立てるとともに耐久性 4 万時間の見通しを得ることである。主要課題の電解質粉末化(耐久性、信頼性基礎で示した課題) 以外は現状の対策方向性で十分に達成できる見込みがあると考えている。

## 2. 1. 2 運用性向上のための起動停止技術開発（中温円形平板型）

### （1）研究開発概要

発電部門における省エネルギーおよび石油代替を促進するため、天然ガス、石炭ガス等を燃料とすることが可能であり、小規模分散型から大規模火力代替システムまで広い適用性を持つ、発電効率の高い固体酸化物形燃料電池（以下、SOFC という）は有効である。その SOFC を小・中規模分散型電源市場に投入できる SOFC コジュネレーションシステム（以下、システムという）として実用化するためには、これまでのプロジェクトにおいて実施してきた出力一定運転による耐久性の確認に加え、ホットスタンバイを含めた実用的な起動停止技術の向上が求められる。そのため、本研究では起動停止性能に優れたセルスタック、モジュール、システムの開発（設計・製作）及び緊急時の安全停止のための制御方法の開発を行う。

具体的にはスタックの構成を変えた数種の数 kW 級シングルスタックの発電試験を実施し、起動停止性能に優れたシングルスタックの仕様・構造を検討する。得られたシングルスタック構造を基に、マルチスタック発電モジュールの開発を行い、起動停止性能を確認する評価試験を実施する。更に、マルチスタック発電モジュールをシステムに組み込み、運用性の検証を実施する。

### （2）研究開発目標

#### a. 平成 22 年度中間目標

起動停止による熱サイクルの影響を評価し、熱衝撃緩和セルスタック構造を確立する。具体的にはシングルスタックモジュールでの起動停止試験を実施し、以下の見通しを得る。

電圧低下率 : 10%/250 回

また、成果の得られたセルスタック構造を基に、マルチスタックモジュールを設計、製作する。更に窒素水素レス運転における安全且つ安定した起動停止（昇温及び降温）方法を立案する。

#### b. 平成 24 年度達成目標

マルチスタック発電モジュールをシステムに組み込み、起動停止試験を実施し、以下の見通しを得る。なお、起動停止回数を決定するにあたり、週 1 回の待機運転（ホットスタンバイ運転または低負荷運転 40 回/年）、メンテナンスのための停止（1 回/2000 時間）、計画停電（3 回/年）、想定外停止（3 回/年）を想定し、4 万時間（約 5 年）で 250 回の起動停止回数を設定した。

耐久性 : 4 万時間（電圧低下率 0.25%/1000 時間）

起動停止回数 : 250 回（ホットスタンバイ運転を含む）

#### c. 開発体制及びスケジュール

図 III-2.1.2-1 に開発体制を、表 III-2.1.2-1 に開発スケジュールを示す。最終目標を達成するにあたり、スタック、モジュール、システムと段階を経て、開発を進める方針を取った。

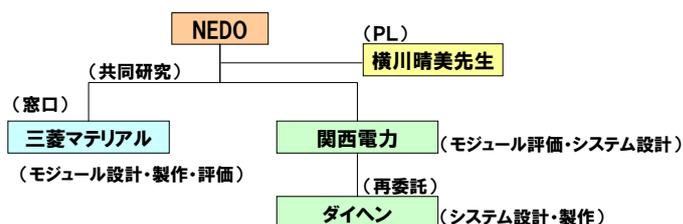


図 III-2.1.2-1 開発体制

表Ⅲ-2.1.2-1 開発スケジュール

開発項目	H20年度	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度
シングルスタックの設計・製作及び評価試験※	▶				
マルチスタック発電モジュール設計・製作		▶			
マルチスタック発電モジュールの評価試験				▶	
システムの設計・製作				▶	
システムの運用性検証試験					▶

※：φ120mmセル（従来セル）・φ170mmセル（高出力セル）を用いたスタックにて開発を実施。

## (2) 研究開発成果

### a. 研究開発成果

#### (a) φ120mmセルを用いたスタック開発

耐久性・信頼性向上に関する基礎研究プロジェクトにおいて開発された「改良セル2」を用いたスタックにて起動停止試験及び出力変動試験を実施した。

改良セル2及びスタックの仕様を表Ⅲ-2.1.2-2に、試験結果を表Ⅲ-2.1.2-3及び表Ⅲ-2.1.2-4に示す。また、起動停止試験及び出力変動試験の運転条件を図Ⅲ-2.1.2-2及び図Ⅲ-2.1.2-3に示す。

40回の起動停止試験より求められる起動停止50回あたりの電圧低下率は5.0%と見込まれる。そのため、起動停止50回及び出力変動200回の電圧低下率は7.3%と見込まれ、中間目標に掲げている10%/250回を達成する見通しを得た。

なお、スタック構造に由来する電圧低下の要因としては、マニホールド部（シール部）の破損、垂直下や放熱板上下セルの電圧低下、セルの損傷、スタック構成部品内の電気抵抗の増大、スタック構成部品とセパレータ間の接触抵抗の増大などが分かった。

表Ⅲ-2.1.2-2 セル及びスタック仕様

セル種	セル外径	電流密度	セル積層枚数	出力
改良セル2	φ120mm	0.3A/cm <sup>2</sup>	46枚/スタック	DC1.2kW

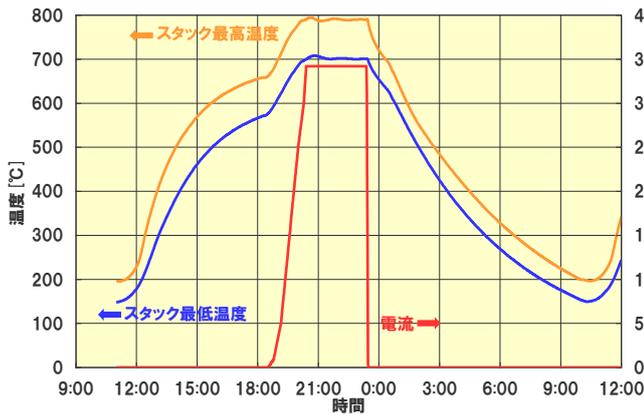
表Ⅲ-2.1.2-3 起動停止試験結果

電流密度	燃料利用率	スタック最高温度	電圧低下率	セル損傷枚数
0.3A/cm <sup>2</sup>	75%	780℃	4.0%/40回	0枚/46枚

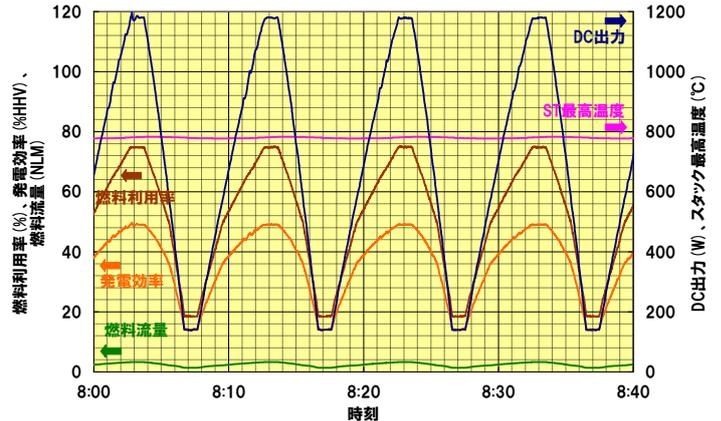
表Ⅲ-2.1.2-4 出力変動試験結果

電流密度※	燃料利用率	スタック最高温度	電圧低下率	セル損傷枚数
0.3A/cm <sup>2</sup>	75%	780℃	2.3%/200回	2枚/46枚

※：定格条件（100%電流時）における電流密度を示す。



図III-2.1.2-2 起動停止試験の運転条件  
(1日1サイクル)



図III-2.1.2-3 出力変動試験の運転条件  
(10分1サイクル)

### (b) 水素窒素レスでの起動停止方法

前プロジェクトまでは水素窒素を用いてモジュールの起動停止を実施してきたが、実用化を考慮した際、水素窒素が不要とするのは必要不可欠な技術であると考えられる。そのため、単セル試験にて、供給ガス流量（都市ガス、水、空気）、セル温度、改質器温度をパラメータに水素窒素レスで起動停止できる条件を抽出した。なお、(c) viii. 項に記載の起動停止及び出力変動試験は水素窒素レスにて試験を実施している。本起動停止による問題は発生しなかった。

また、緊急停止時の停止方法についても検討し、何れの事象においても水素窒素レスで停止する方法を立案した。想定するトラブルとその停止方法（供給ガス）の一例を表III-2.1.2-5に示す。なお、(c) 項に記載のφ170mmセルスタックの起動停止試験は全て水素窒素レスにて起動停止を実施している。

表III-2.1.2-5 想定トラブルと停止方法

想定する主なトラブル	燃料極側	空気極側	結果
インバータ異常	改質ガス	空気	○ (現行システムで対応可能)
都市ガスブロワ異常	水 (常時)	空気 (常時)	○ (現行システムで対応可能)
都市ガス及び純粋ポンプ異常	水 (一時)	空気 (常時)	○ (現行システムで対応可能)
	水 (一時)	空気 (一時)	○ (現行システムで対応可能)
都市ガス及び空気ブロワ異常	水 (常時)	無	△ 空気停止は不可のため、最小の流量及び供給時間を抽出。供給方法についてはシステム設計時に検討。
停電	水 (一時)	無	

### (c) φ170mmセルを用いたスタック開発

(a) 項に示す通り、φ120mmセルを用いたスタックにおいて中間目標の見通しを得たが、SOFCロードマップ2008に挙げられている普及期のコスト目標を見通すためには、セルの高出力化を図り、モジュールの部品点数を削減することが必須である。そのため、将来のコストダウンを目的に、セルの大口径化及び高出力密度化を図ったスタックの開発を実施した。

具体的にはセルの外径を  $\phi 120\text{mm}$  から  $\phi 170\text{mm}$  に大きくし、セル一枚あたりの出力を約 4 倍に高めたセルを用いたスタック開発を実施した。セル及びスタックの仕様を表 III-2.1.2-6 に示す。

スタック設計は、これまで  $\phi 120\text{mm}$  セルスタックで上がっていた問題点及び  $\phi 170\text{mm}$  セルスタックで起動停止試験を実施し発現した問題点についての対策を行った。

表 III-2.1.2-6 セル及びスタック仕様

セル種	セル外径	電流密度	セル積層枚数	出力
改良セル 2	$\phi 170\text{mm}$	$0.58\text{A}/\text{cm}^2$	32 枚/スタック	DC3.2kW

### i. マニホールド部（シール部）の破損

起動停止を行うことでマニホールド部のシールが破損する可能性があることが前プロジェクトにて分かっている。そのため、マニホールド部の構造の見直しを実施した。マニホールド部にはシールのためのコーティングを行っているが、そのコーティング厚さにバラつきが生じていることが判明した。このバラつきがシールの破損に影響している可能性があるため、専用の治具を用い、厚さのバラつきを 1/10 程度まで低減した。また、セパレータの製作工程において、セパレータのアーム部及びマニホールド部を変形させてしまう可能性のある工程が確認された。その工程自体は除外できないので、変形を防止するセパレータ構造に変更した。更にはマニホールド部の傾きを防止するために、マニホールド部を締め付けるボルトの配置についても見直しを行った。この結果、マニホールド部からのリークは発生しなくなった。

### ii. 錘直下セルの電圧低下

起動停止や連続運転を実施することで錘直下のセルの電圧低下を大きいことが分かっている。また、要素試験によりスタック上部セル電圧が低下する要因として、加重不足が判明した。そのため、単セル試験にて必要な加重条件を見出し、スタックの錘重量を決定した。この結果、スタック上部セルにおいても他のセルと遜色ないセル電圧となった。

### iii. スタック内の温度差

平板形セルを積層したスタック構造の場合、スタックの中段部ほど温度が高く、スタック内の高さ方向に温度差が生じる。この温度差は高出力化セルを用いるとより顕著になる。そのため、スタックの高さ方向の温度差を低減させるために、スタック内に放熱板を複数枚設置することとした。温度低減効果の高い放熱板形状、設置位置について、スタック内の高さ方向の温度分布を均一化するように、シミュレーションにて決定した。スタック

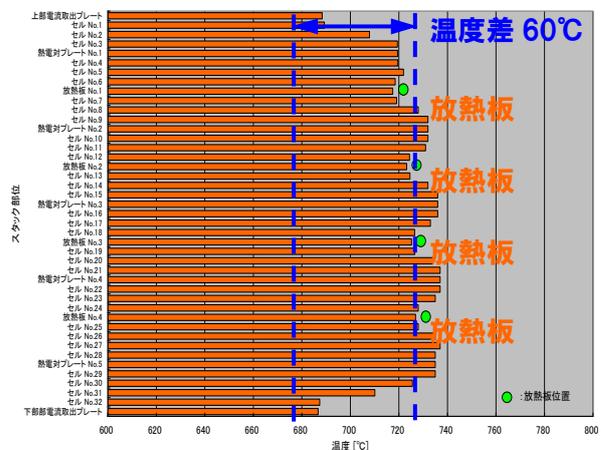
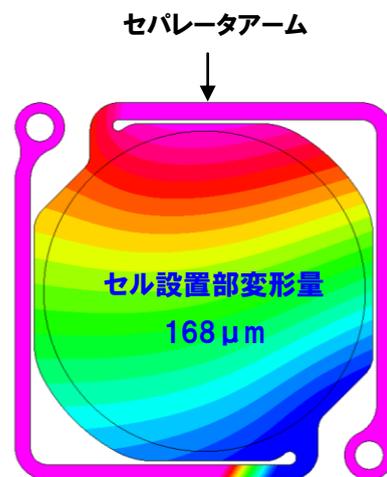


図 III-2.1.2-4 スタックの温度解析結果

クの温度解析結果を図Ⅲ-2.1.2-4に示す。この結果、スタック内の温度差は目標としていた60℃差（φ170mmセルにて仕様としている出力、効率を得るために必要な温度範囲）以内に収めた。

#### iv. セパレータ形状の見直し

セルの損傷や放熱板上下セル等の電圧低下の要因は、セパレータのセル設置部の不均一な変形が影響しているものと考えられ、当該部の変形量を小さくする（セパレータアームの剛性を小さくする）セパレータを開発することでφ120mmセルを用いたスタックでは一定の効果を得てきた。そのため、φ170mmセルを用いる本スタックにおいても、セパレータのセル設置部の変形量を小さくすることに主眼をおいて、セパレータの設計を行った。セパレータの変形解析結果の一例を図Ⅲ-2.1.2-5に示す。



図Ⅲ-2.1.2-5 セパレータの変形解析

しかしながら、現時点ではセルの損傷防止、放熱板上下セル等の電圧低下の防止に至っていない。

#### v. セルの損傷

iv. 項に記載のセパレータの形状変更に加え、セルの強度向上のために電解質スラリーの均質化や焼成条件の見直し、セルの欠陥をなくすための製造工程の改良やセルの全数検査等を実施した。それぞれに効果は確認できたものの、セルの損傷防止には至っていない。セル損傷の原因調査のために、セルの外径、電解質厚さ、電解質組成などをパラメータにして、東北大学殿にセルの応力解析を実施頂いた。結果、燃料極/電解質/空気極の還元膨張及び熱膨張の差がセルに大きな応力を与えていることが分かった。また、セル面内の温度分布もそれを強調する材料になっていることも分かった。今後は単セルでの予察試験を実施し、セル損傷を防止するスタック構成を検討する。

#### vi. スタック構成部品の電気抵抗の増加

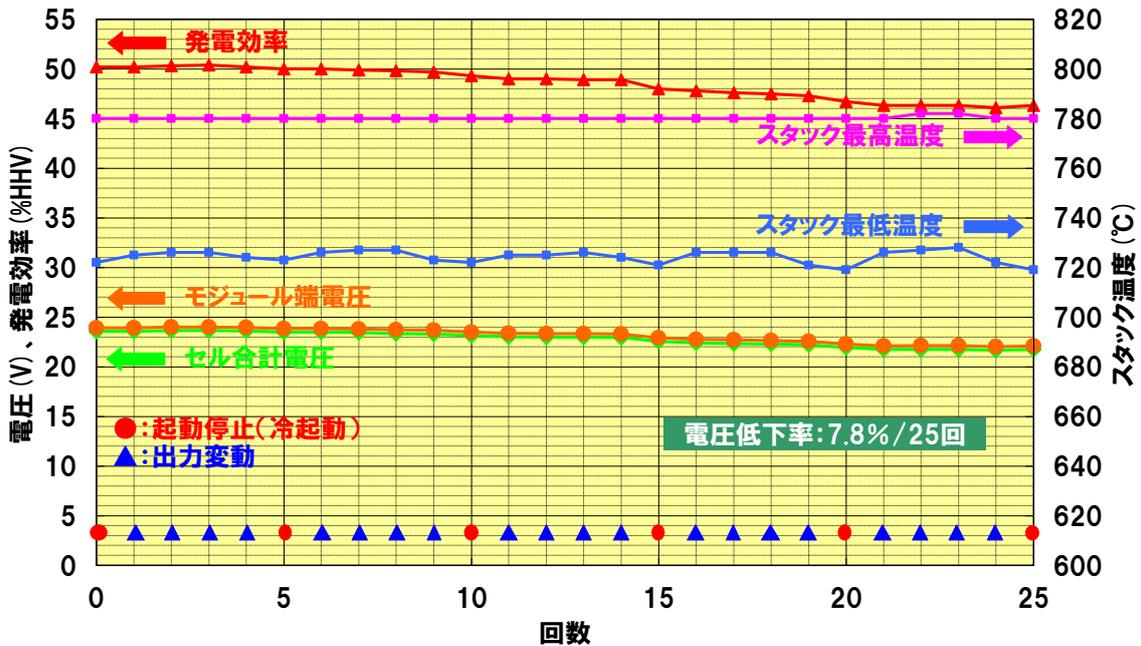
起動停止を実施することで、スタック構成部品内部及びスタック構成部品とセパレータ間の電気抵抗が増加することが分かった。そのため、スタック構成部品については可能な限り溶接を行わない構造を採用し、溶接構造を取らざる得ない部品については溶接脚長を増した。また、スタック構成部品とセパレータはスタック組立前に熱圧着し、密着性を高めた。結果、当該部の電気抵抗は大きく低減した。

#### vii. スタック内の温度差拡大

起動停止を実施することで、スタックの高さ方向の温度差が拡大することが分かった。これはスタックの低温部であるスタックの上下から空気を供給していることが原因と判明したため、空気の供給をスタックの高温部であるスタック中段部から供給する対策を行った。結果、温度差の拡大を防止した。

### viii. 起動停止及び出力変動試験結果

i～vii項に示す対策を施した φ170mm セルスタックにて起動停止 5 回と出力変動 20 回を組み合わせさせた試験を実施した。試験結果を図Ⅲ-2.1.2-6 及び表Ⅲ-2.1.2-7 に示す。起動停止 50 回及び出力変動 200 回の電圧低下率は 78%と見込まれた。中間目標を見通すためには、セル損傷や放熱板上下セルの電圧低下を改善する必要がある。また、本試験よりセル/集電体/セパレータ間の接触抵抗の増加も電圧低下の一要因と推測され、原因はスタック内に配置している放熱板とセパレータの変形能の不一致が問題と考えている。



図Ⅲ-2.1.2-6 起動停止・出力変動試験結果

表Ⅲ-2.1.2-7 起動停止及び出力変動試験結果

電流密度	燃料利用率	スタック最高温度	電圧低下率	セル損傷枚数
0.58A/cm <sup>2</sup>	78%	780°C	7.8%/25 回	2～6 枚/32 枚

#### (d) マルチスタックモジュールの設計・製作

(b) 項にて水素窒素レスで起動停止する条件を見出したが、その条件にはスタック温度と改質器温度の差を 100°C以内に保つことが含まれている。そのため、その温度条件を満たすことができるスタック及びモジュール内機器の配置を見出すために熱流体解析を実施し、マルチスタックモジュールを設計し、製作を実施した。

#### b. 達成度

φ120mm セルを用いたスタックにおいて、中間目標である電圧低下率 10%/250 回の見通しを得た。φ170mm セルを用いたスタックにおいては、中間目標である電圧低下率 10%/250 回の見通しを得るための問題点を抽出した。水素窒素レスで起動停止する方法を見出し、実モジュールでの試験も実施した。水素窒素レスでの起動停止が可能なマルチスタックモジュールの設計を熱流体解析コードを用いて行い、製作を実施した。達成度の一覧を表Ⅲ-2.1.2-8

に示す。

表Ⅲ-2.1.2-8 達成度一覧

項目	状況	達成度
起動停止試験を実施し電圧低下率 10%/250 回を見通す	φ 120mm セルスタック : 7.3%/250 回	○
	φ 170mm セルスタック : 7.8%/25 回 電圧低下の問題点の抽出を行った	△
水素窒素レスでの起動停止	方法の立案及び実モジュールでの試験実施	○
マルチスタックモジュールの設計・製作	水素窒素レス起動が可能なモジュール設計・製作を実施	○

### (3) 成果の意義

- ① 水素窒素レスでの起動停止（緊急停止を含む）が可能となり、簡素化及び低コスト化を図った SOFC システムを市場に供給が可能となった。
- ② 小・中規模の SOFC では、一定負荷のベースロードへの適用を想定していたが、今回の成果により、SOFC システムを大きく負荷が変動する市場への可能性が見出された。
- ③ 実際の運転において重要となる冷起動・熱サイクルにおける影響・課題の抽出を行うことができた。これらは、高温で作動する SOFC の実用化のための共通の課題として位置づけられる。

### (4) 成果の最終目標の達成可能性

φ 120mm セルを用いたスタックにおいては、起動停止 250 回での電圧低下率 10%以下の見通しを得ている。そのため、φ 120mm セルを用いた場合、最終目標は達成可能と考えている。

しかしながら、φ 120mm セルを用いた開発では、燃料電池・水素技術開発ロードマップ（2008）に記載のセルスタック化コストは 5 万円/kW（普及期）の見通しは困難である。このコスト目標を見通すためには、φ 170mm セルを用いたスタック開発が必須と考えられ、φ 170mm セルを用いたスタック開発を実施した。

現時点までに φ 170mm セルを用いたスタック構造における問題点として、セル損傷、放熱板上下セルの電圧低下、セパレータ/集電体/セル間の接触抵抗の増大が分かっている。セル損傷についてはセルの応力解析より、燃料極/電解質/空気極の熱膨張及び還元膨張の差が影響していると考えられる。またセル面内の温度差は、その影響を強調する材料となっている。また、放熱板上下セルの電圧低下や接触抵抗の増大はスタック内に配置している放熱板とセパレータの変形能の不一致が問題と考えている。そのため、これらの対策を検討し、要素試験にてその効果を検証する予定である。検証結果をスタック構造に反映することで、φ 170mm セルを用いたスタックにおいても起動停止による電圧低下率を 10%/250 回以下を見通すことが可能と考えている。

### (5) まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

#### a. まとめ

φ 120mm セルを用いたスタックにおいて、起動停止及び出力変動 250 回において、中間

目標である電圧低下率 10%以下の見通しを得た。

φ170mm セルを用いたスタックにおいては、起動停止及び出力変動 250 回において、電圧低下率 10%以下の見通しを得るための課題を把握した。

水素窒素レスでの起動停止方法を立案し、実モジュールでの試験を実施した。また、緊急停止方法についても検討し、何れのケースにおいても通常の停止時と同様に水素窒素レスで停止する方法を立案した。

水素窒素レスで起動停止が可能なマルチスタックモジュールの設計・製作を実施した。

## b. 課題

φ170mm セルスタックにおいて、起動停止及び出力変動での電圧低下率 10%/250 回を見通すためには、セル損傷の防止、放熱板上下セルの電圧低下防止、接触抵抗の低減が課題として挙げられる。セル損傷の防止は燃料極/電解質/空気極の熱膨張及び還元膨張の差が影響していると考えられ、更にはセル面内の温度差がその影響を強調する材料となっていることが分かった。放熱板上下セルの電圧低下防止、接触抵抗の低減は放熱板とセパレータの変形能の不一致が問題と捉えている。

## c. 事業化までのシナリオ

φ120mm セルを用いたスタックの技術面においては SOFC ロードマップ 2008 に沿った開発が可能であるが、コスト面においてはさらにコスト低減を図る必要がある。

その手段として、φ170mm セル（高出力セル）を用いたスタックの開発は有効であるものの、本スタックにおいて技術的な課題（セル損傷、接触抵抗増大等）が判明している。

これらの課題を対策検討し、要素試験等にてその効果を検証することにより耐久性向上を見通し、併せてコスト低減との両立を図り、実用化・事業化を SOFC ロードマップ 2008 に沿った形で推進していく予定である。

## 2.2 超高効率運転のための高圧運転技術

### (1) 事業概要

固体酸化物形燃料電池(SOFC)はガスタービン複合発電と組み合わせることにより、極めて高い効率を実現することができる。数百 MW 級の火力発電用の天然ガス焼きガスタービン複合発電システムとの複合発電システムとして発電効率 70%(LHV)以上、数百から数千 kW 級の中小規模の SOFC-マイクロガスタービンハイブリッドシステムとして発電効率 55%(LHV)以上の発電システムが構成できる。当社では、平成 16～19 年度の委託研究「円筒形 SOFC コンバインドサイクルシステムの開発」にて、200kW 級の SOFC-マイクロガスタービンコンバインドサイクルの検証運転を実施し、200kW 以上にて発電効率 52%(LHV、送電端)を確認し、その後継続研究にて 3,000 時間の複合発電運転を実施し経時電圧低下がないことを確認したが、実用化に向けた信頼性向上等の課題も明らかになった。

本事業では、これまでの研究開発で明らかになった課題を解決し、更に高効率の SOFC 複合発電システムを実用化することを目的として、円筒形 SOFC セルスタック・モジュール・発電システムを対象とした、信頼性向上、高効率化・コンパクト化・簡素化及び高圧運転対応技術のための要素技術開発を実施する。

### (2) 目標

#### a. 「中間目標」(平成22年度)

◎マイクロガスタービンと組み合わせるための圧力範囲で、起動停止、緊急時の安全停止を可能とすることなどの高圧下での運転のためのシステム技術を確立する。

#### b. 「最終目標」(平成24年度)

◎耐久性 4 万時間(電圧低下率 0.25%/1000 時間)の見通しを得る。

◎超高効率運転のための高圧運転技術を確立する。

その確認のために、250kW 級の SOFC-マイクロガスタービン複合発電実証機を製作・運転し、出力 250kW 級、発電効率 55%以上(LHV 送電端)であることを確認する。

上記の目標を達成するために、下記の項目を実施する。

#### (a) セルスタック要素技術開発

- ・ 高圧運転環境下で想定される燃料-空気間高差圧運転状態・酸化還元サイクルに対して耐性の高いセルスタックを開発する。具体的には燃料極保護のための還元性ガスがシステム異常等により停止しても、セルスタックの損傷を回避できるように改良する。
- ・ 改良したセルスタックの発電特性を、高圧状態も含めて、試験・評価する。
- ・ 長時間耐久性については、「耐久性・信頼性向上のための基礎研究」に参画し、研究機関との連携で得られた成果を改善仕様に織り込み、最終目標を目指した電圧低下率の低減を図る。

#### (b) モジュール要素技術開発

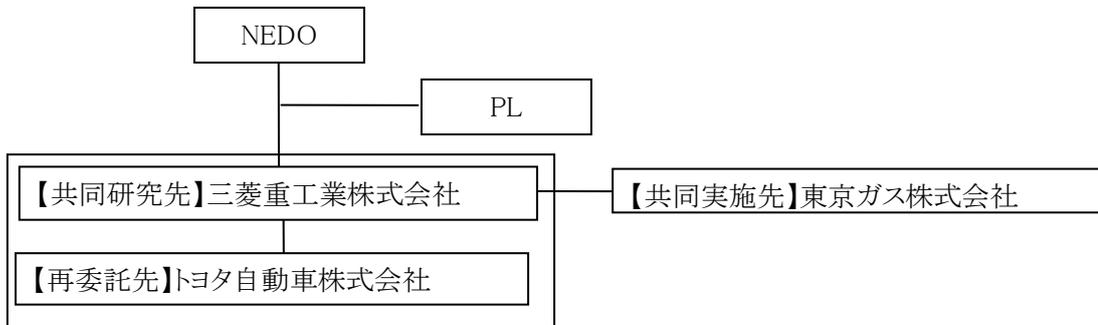
- ・ 高圧運転状態での熱交換を考慮し、コンパクト化を図った密充填構造のカートリッジ(スタック集合体)の計画・設計・製作・試験を実施し、構造健全性、発電特性、伝熱・冷却特性、耐差圧性等の改良を確認し、実用的なモジュール(カートリッジ集合体)の設計を行う。
- ・ 平成 23 年度以降に改良セルスタックを使用した密充填構造のモジュールを製作し、複合発電システムでの運転検証を実施する。

(c) 複合発電システム要素技術開発

- ・ 起動停止や緊急時の安全停止等の過渡状態を含めたセルスタック・モジュール・マイクロガスタービン(MGT)保護のための制御・インターロックシステムを前プロジェクトの試験機から改良し、さらに一部に損傷が発生した場合の損傷拡大を抑制するシステムを構築する。
- ・ その検証のため、平成 22 年度までに SOFC と MGT を組み合わせた状態でシステム要素試験を実施し、中間目標達成を確認する。
- ・ 密充填構造のモジュールを適用し、信頼性を確保した上でシステム全体のコンパクト化・簡素化を図った複合発電システムを平成 22 年度までに計画する。
- ・ 平成 23 年度以降に改良セルスタックを使用した密充填構造のモジュールにて複合発電システムを製作し、実用に向けた運転検証を実施する。

c. 研究体制とスケジュール

研究開発体制とスケジュールを図Ⅲ-2.2.1と表Ⅲ-2.2.1に示す。平成 23 年度から東京ガス株式会社が共同実施先として参画し、複合発電システムの運転検証を共同で実施する体制に変更した。



図Ⅲ-2.2.1 研究体制

表Ⅲ-2.2.1 研究開発スケジュール

項目	H20	H21	H22	H23	H24
<b>セルスタック</b> ・ 酸化還元サイクル耐性向上 ・ 耐差圧性向上  ・ 高圧下での発電特性評価  (耐久性・信頼性PJ)  (低コスト化PJ)		要素 スタック	要素・スタック	セルスタック製作	
		耐久試験・メカニズム考察		要素・スタック改良	
		要素			
<b>モジュール</b> ・ 耐差圧性向上 ・ 高圧運転対応・コンパクト化		要素・設計 カートリッジ		計画・設計 カートリッジ製作	
				モジュール製作	
<b>複合発電システム</b> ・ 信頼性向上  ・ コンパクト化・簡素化		設計・検討	試験	計画・設計 システム・BOP製作	
		設計・検討	試験		
	前PJ継続研究			CCシステム試験	

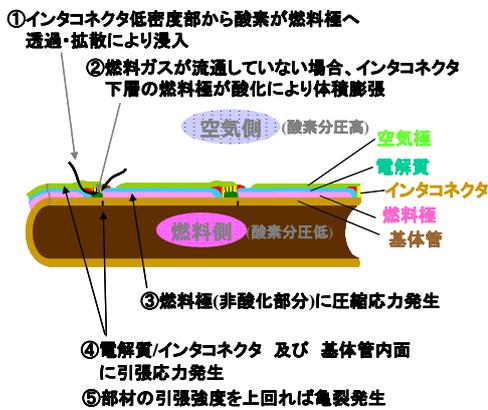
### (3) 事業成果

#### a. セルスタック要素技術開発

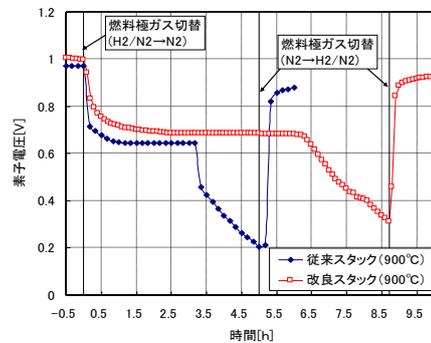
##### ①セルスタック酸化還元サイクル耐性向上

円筒横縞形セルスタックの断面構造とその損傷プロセスを図III-2.2.2に示す。円筒横縞形セルスタックでは、燃料を基体管の内側、空気を外側に流し、燃料と空気は緻密質の電解質膜とインタコネクタ膜でシールされる。従来のセルスタックでは、電解質にオーバーラップしたインタコネクタ膜の端部の緻密度が相対的に低かったため、燃料極側への酸素浸入経路となっていた。燃料極中のニッケルは酸素分圧により金属ニッケル(Ni)と酸化ニッケル(NiO)に可逆変化し、体積が変化するため、発電に供して以降は、燃料側の酸素分圧を抑えて燃料極を金属ニッケルの状態に保つようになっている。しかし、システム上の異常等により燃料ガスも置換ガスも供給できなくなった場合は、インタコネクタ膜端部の相対的に緻密度の低い部分から、燃料極側へ酸素が浸入し、セルスタックが損傷に至る可能性がある。

そのような異常状態でもセルスタックが損傷しないようにするために、インタコネクタ膜の強度・緻密度を改良し、強度を20%高めると共に低密度部の相対密度を99%以上に高めた。改良型インタコネクタを適用したセルスタックを試作し、セルスタックの燃料側に窒素を通気して、亀裂発生までの時間を計測した結果を図III-2.2.3に示す。700℃、800℃では従来セルスタック、改良セルスタック共に亀裂発生は観察されなかったが、900℃では、従来セルスタックは窒素通気開始3.2時間後、改良セルスタックでは窒素通気開始6.2時間後に著しい電圧低下を検出し、その後燃料ガスを置換ガスに戻しても、もとの電位に復さなかったことから、その時点でインタコネクタ等に亀裂が発生したと考えられる。拡散リークによる酸素浸入は温度低下とともに急激に減少するため、万一燃料極に還元性ガスが供給できない事態が生じて、6時間以内に温度を下げられれば、亀裂発生を抑制できると考えられる。



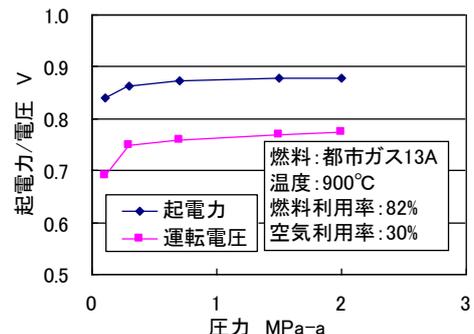
図III-2.2.2 燃料極還元性ガス停止時のセルスタック損傷プロセス



図III-2.2.3 酸化還元耐性試験における900℃での従来スタックと改良スタックの電圧経時変化

##### ②セルスタック高圧発電特性予測

高圧下では、セルの平衡起電力は上昇する。また、活性化過電圧も全圧の上昇に伴い低減し、セルの運転電圧は上昇する。各圧力の平衡組成から求めた平衡起電力、全圧0.7MPa-aまでの実験値から外挿して予測した運転電圧を図III-2.2.4に示す。圧力2MPa-aでは、常圧に対して12%程度の電圧上昇が見込まれる。数MPaでの運転については、「固体酸化物形燃

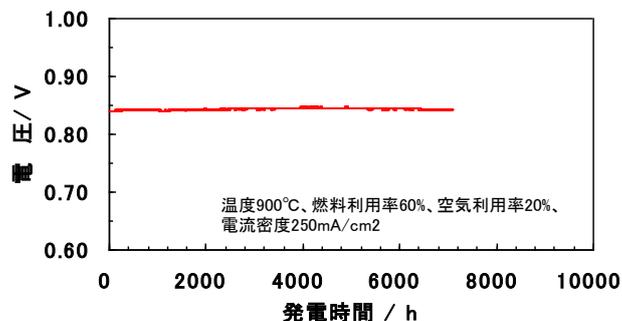


図III-2.2.4 高圧運転時の予測電圧

料電池を用いた事業用発電システム要素技術開発」プロジェクトにおいて実験的に検証していく。

### ③セルスタックの経時電圧低下率の改善

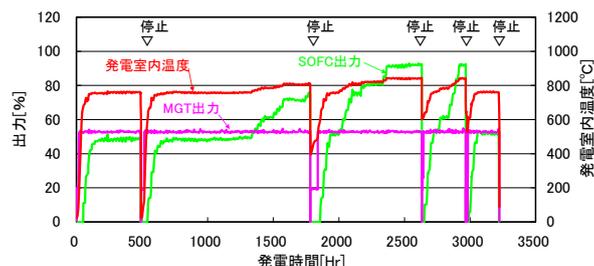
この項目は「基礎的・要素的技術開発」で取り組んでいる。前プロジェクトの耐久後セルスタックを、プロジェクト参加研究機関にて分析・考察した結果を反映し、空気極中間層部での陽イオン移動の抑制を図った複合発電システム検証用のセルスタックを試作し、耐久試験を継続中である。図III-2.2.5 に示す通り、約7000 時間経過し、最終目標である 0.25%/1000 時間以下であり、更に、モデル材により10,000 時間以上の耐久性を予測した結果、得られた劣化速度式にて 4 万時間の見通しを得た。



図III-2.2.5 改善セルスタックの耐久試験における性能推移

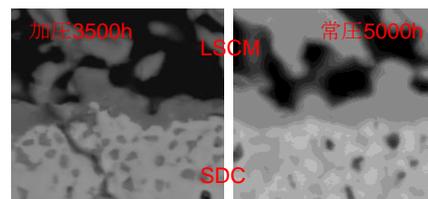
### ④複合発電システム試験後の解体分析

図III-2.2.6 に前プロジェクト・継続研究で実施した複合発電システムの耐久試験結果を示す。本プロジェクトにおいても系統改造後の試験を実施したため、累積3,500時間、停止再起動を6回実施したが、単セルスタック同様、性能低下は観測されなかった。このセルスタックを加圧耐久後のサンプルとして解体分析した。カソード／中間層近傍の微構造を常圧5000時間耐久後のサンプルと比較した結果を図III-2.2.7 に示す。



図III-2.2.6 複合発電システムの耐久試験結果

「基礎的・要素的技術開発」で常圧耐久試験を実施したセルスタックは、電圧低下が観測されなくても、カソード中のカチオンが拡散し、カソード／中間層界面に緻密層が生成すると共に中間層の緻密化が観察された。加圧下で実施した複合発電システム耐久試験後のセルスタックも微構造は同様であり、また元素分布も常圧との差異は認められなかった。更に、加圧耐久後の Cr 堆積量を SIMS により分析した結果を図III-2.2.8 に示す。カソードに蓄積した Cr は最大でも数 ppm 程度であり、単セルスタック試験と同様、極微量であり、実環境下において Cr 被毒が起る可能性は低いことが確認できた。

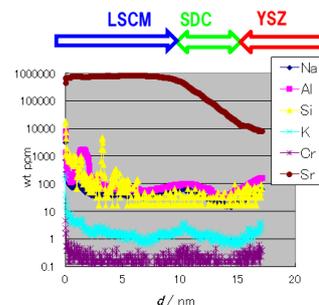


図III-2.2.7 カソード／中間層界面の微構造比較

## b. モジュール要素技術開発

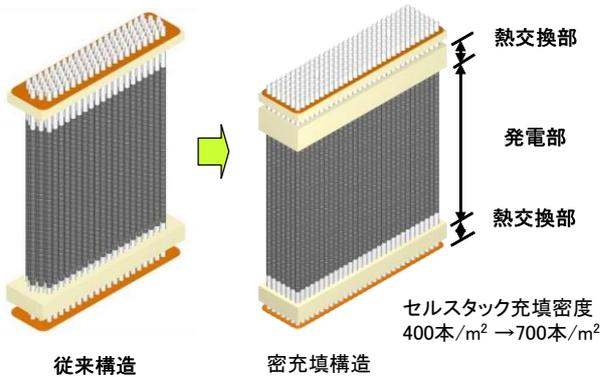
### ① 充填カートリッジの開発

モジュールをコンパクト化するため、図III-2.2.9 に示すようにセルスタック装填密度を 1.7 倍にした密充填カートリッジを設計した。セルスタックの高充填化により、発電室の容積当たりの発熱密度が増加するた



図III-2.2.8 複合発電システム耐久試験後の SIMS による微量成分分析結果

め、発電室温度の適正化を図ると共にセルスタックを両端で支持する金属製ヘッダの低温化が熱設計上の重要な課題である。このため、高充填化に対応した伝熱設計を行い、発電室内の温度分布を解析した。燃料ヘッダの金属製管板の応力解析も実施し、600℃で 4 万時間以上の寿命を持つ設計とした。表Ⅲ-2.2.2 に試作したカートリッジ仕様と適用したセルスタック仕様を示す。



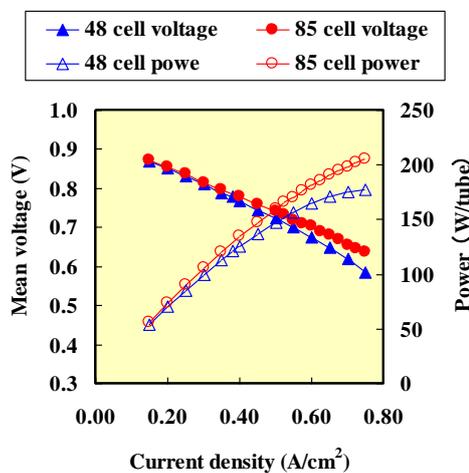
図Ⅲ-2.2.9 密充填カートリッジ構造

表Ⅲ-2.2.2 密充填カートリッジ仕様と適用したセルスタック

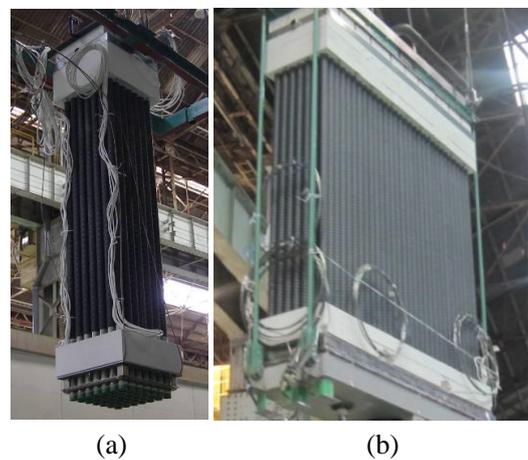
No.	カートリッジ仕様	セルスタック仕様
#1	カートリッジ要素	従来セルスタック
#2	カートリッジ要素	改良セルスタック
#3	カートリッジ要素	実証機用セルスタック
#4	実証機用カートリッジ	実証機用セルスタック

改良セルスタック：酸化還元耐性向上セルスタック  
 実証機用セルスタック：酸化還元耐性向上セルスタックを改良し出力向上

実証機用セルスタックは、直列セル数を 48 から 85 に増加すると共に電解質の膜厚を薄くし出力を向上した仕様である。従来セルスタックと実証機用セルスタックの I-V 特性を図Ⅲ-2.2.10 に示す。I-V 特性は 900℃、大気圧下で燃料に水素 ( $H_2/N_2 = 70/30$ )、酸化剤に空気を使用し、燃料利用率と空気利用率はそれぞれ 60%と 20%一定の条件で計測した。図Ⅲ-2.2.10 より、I-V 特性の傾きから得られる面積比抵抗(ASR: Area Specific Resistance)が  $0.5 \Omega \text{ cm}^2$  から  $0.39 \Omega \text{ cm}^2$  に低下し、性能が向上していることが分かる。



図Ⅲ-2.2.10 実証機用と従来形セルスタックのI-V特性比較



図Ⅲ-2.2.11 カートリッジ構造  
 (a)要素試験用、(b)実証機用

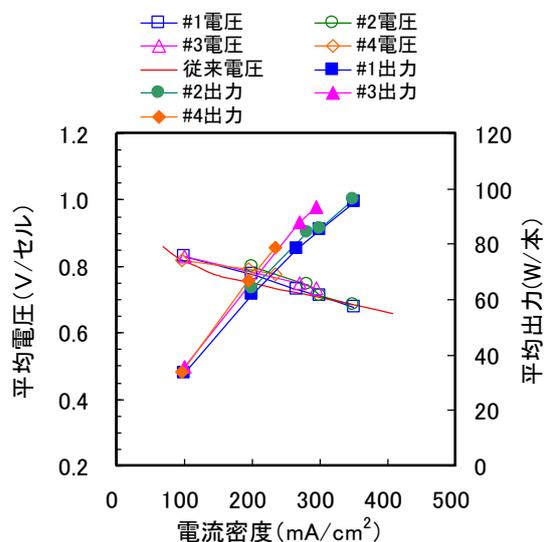
要素試験用と実証機用カートリッジを図Ⅲ-2.2.11 に示す。要素試験用カートリッジはセルスタック約 50 本、実証機用は約 200 本から構成されており、前 PJ と同一サイズで 2 倍のセルスタックを装填している。各カートリッジの I-V 特性を図Ⅲ-2.2.12 に示す。前 PJ の従来カートリッジ電圧≒#1 カートリッジ電圧のため密充填化が良好、#1 電圧≒#2 電圧のため酸化還元耐性を向上したセルスタックは単セルスタック試験同様に良好、#2 電圧<#3 電圧のため実証機用セルスタックの適用によりカートリッジ性能向上、#3 電圧≒#4 電圧のため実証機用カートリッジが良好であることが分かる。

また充填密度の向上と高出力化により容積あたりの発電室の発熱密度が向上するが、図Ⅲ-2.2.13 に示すとおり、No.1～No.4 カートリッジ何れも概ね同一の温度分布が得られ、計画通りの伝熱特性を有していることを確認した。

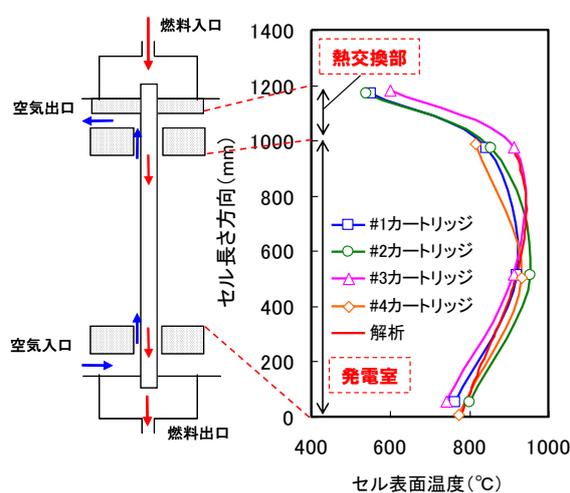
燃料と空気に差圧を印加すると、カートリッジではセルスタック両端のガスシール部から燃料が空気側に漏れこみ、燃焼により周囲の温度が上昇する。インターロック等の過渡応答時に過差圧が引加された時のセルスタックとカートリッジの健全性を確認した。燃料-空気間の差圧を定格の 0.5kPa から 3.0kPa まで逡増したときの発電室内温度の変化を図Ⅲ-2.2.14 に示す。各部とも差圧の増加に伴い温度が上昇し、燃料入口側の発電室上部温度の上昇が顕著であるが、差圧を元に戻すと発電室温度も元に戻り、セルスタック・ガスシール部等の損傷は検知されず、開放点検においても健全であることを確認した。

カートリッジを集合しモジュール化した際、各カートリッジへの空気供給のアンバランスが生じる。この空気供給アンバランスが発電室温度に及ぼす影響を評価するため、燃料利用率を 82% 一定に保持し、空気利用率を SOFC-MGT ハイブリッドシステムでの計画値 30% に対し、26～33% に変化させた結果を図Ⅲ-2.2.15 に示す。空気利用率を 26～33% に変化させても、発電室温度は 750～960℃ であり、セルスタック平均電圧も安定しており、更に金属性管板(燃料供給・排出ヘッダ)も 500℃ 以下に維持できており金属部品の耐久性も問題ないことを確認できた。

実証機用セルスタックと密充填カートリッジの酸化還元耐性および熱サイクル耐性を検証するため、緊急停止により停止するとともに熱サイクル試験を実施した結果を図Ⅲ-2.2.16 に示す。緊急停止信号入力後直ちに、SOFC の負荷は遮断され、SOFC 電圧は直ちに開回路電圧になった。負荷遮断と同時に SOFC のアノード側に窒素 9Nm<sup>3</sup>/h を 2 時間供給し封じ込め、空気は負荷遮断と同時にその圧力で封じ込めて降温した。降温開始後、最も温度の高い発電室中央が約 1.5 時間後に 800℃、約 4.5 時間後に 700℃ に低下した。発電室温度が 200～400℃ に低下後、再昇温し、発電特性が停止前後で同じであることを確認した。



図Ⅲ-2.2.12 カートリッジのI-V特性

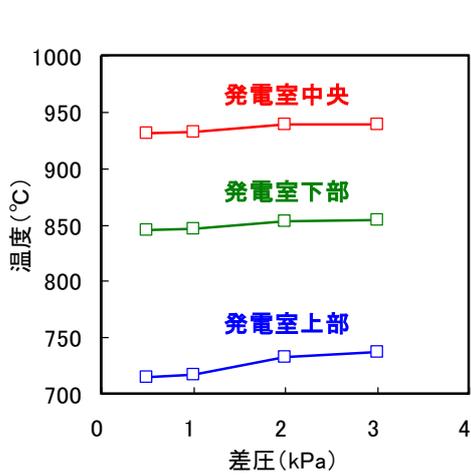


図Ⅲ-2.2.13 カートリッジの温度分布特性

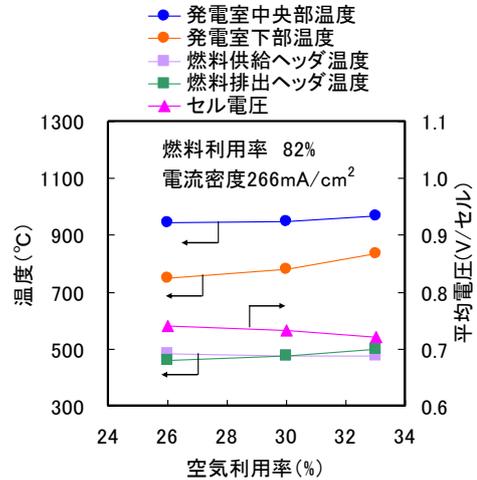
## ② カートリッジ高圧要素技術開発

SOFC-MGT ハイブリッドシステムでは、圧力 0.3MPa-a 程度で運転するが、事業用の大型 GT は MGT に比べ作動圧力が更に高くなる。このため、SOFC-MGT ハイブリッドシステムだけでなく、事業用 GT を適用したトリプルコンバインドシステムまでの、密充填カートリッジの適用可能性を検討した。熱流動解析に

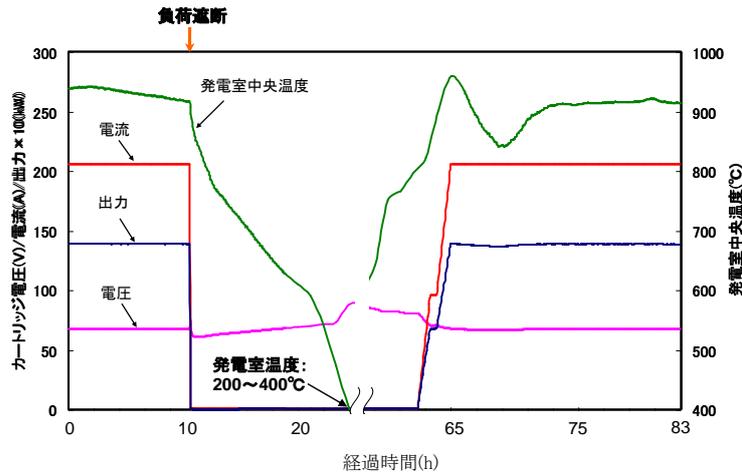
て求めた圧力 2MPa-a でのカートリッジの温度分布を図Ⅲ-2.2.17、酸素濃度分布を図Ⅲ-2.2.18 に示す。全圧に反比例して燃料-空気の流速は低くなるが、2MPa-a でも必要な伝熱量・発電に支障のない温度分布は確保されることを確認した。また発電室全体の酸素濃度分布も、発電に支障の無い範囲であることが分かり、SOFC-MGTハイブリッドシステムだけでなく、大型GTと組み合わせるトリプルコンバインドのような高圧下においても密充填カートリッジを適用できる見通しを得た。



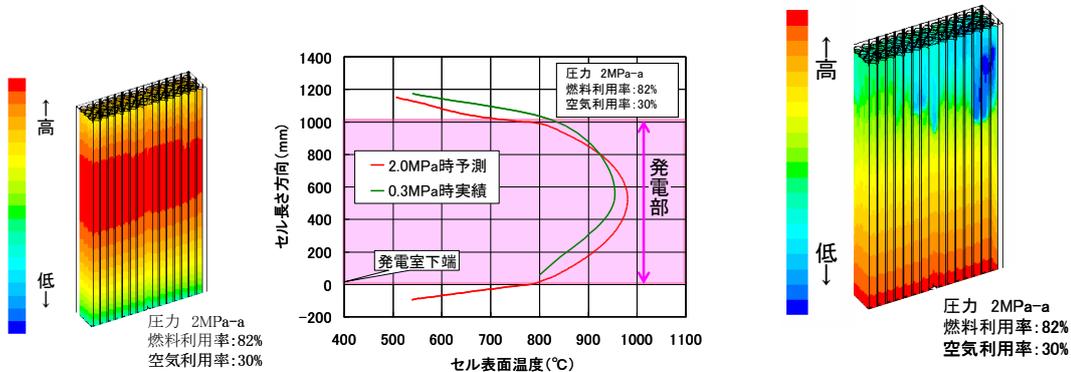
図Ⅲ-2.2.14 燃料-空気間の差圧印加時の発電室温度変化



図Ⅲ-2.2.15 空気利用率変化試験における発電室・燃料ヘッド温度とセルスタック平均電圧の変化



図Ⅲ-2.2.16 カートリッジの緊急停止試験と熱サイクル試験結果



(a) 2MPa-aでのカートリッジ内温度分布

(b) 2MPa-aでのカートリッジ内軸方向温度分布

図Ⅲ-2.2.18 密充填カートリッジの2MPa-aでの発電室内酸素濃度分布

図Ⅲ-2.2.17 密重点カートリッジの2MPa-aでの発電室内温度分布

### c. 複合発電システム要素技術開発

#### ①複合発電システムの信頼性向上

前プロジェクト及びその継続研究で得られた知見に基づき、システム信頼性向上のための保護動作を検討した。SOFC 側の主な保護要件は、(i) 直流電路短絡の防止、(ii) 燃料-空気間の過大差圧印加の回避、(iii) 燃料欠乏状態の回避、(iv) 酸素欠乏運転の回避、MGT 側の主な保護要件は、(v) 燃焼器失火防止及び過大入熱回避、(vi) MGT 過回転の防止、(vii) 圧縮機サージングの回避が挙げられ、異常発生時にも保護要件が維持できるように保護動作ロジックを製作した。その保護動作を適用し、前プロジェクト及びその継続研究で製作・使用した従来構造の SOFC サブモジュールと図 III-2.2.19 に示すトヨタ自動車製の MGT を使用した試験装置で、複合発電システム試験運転を実施した結果を図 III-2.2.20 に示す。発電 65 時間のときに偶発的な緊急停止、285 時間にて意図的な緊急停止信号を入力したが、保護インターロックは正常に動作し、SOFC モジュール・MGT を損傷することなく安全に停止した。緊急停止時には、負荷遮断、燃料系ガス種の切替等が自動で行われるが、燃料-空気間の差圧は、一時的な変動はあるが規定値内であり、試験運転後も SOFC と MGT に損傷は観測されなかった。



図 III-2.2.19 マイクロガスタービン (トヨタ自動車製)

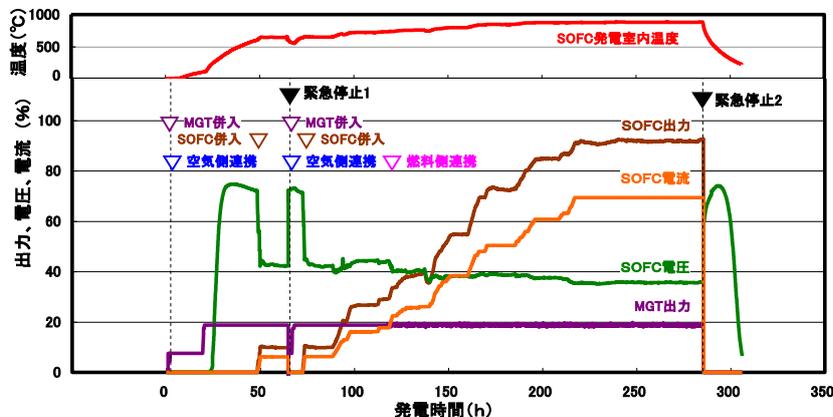


図 III-2.2.20 SOFC-MGT複合発電システム試験運転経過

#### ②複合発電システム起動手順の簡素化・迅速化

##### (i)起動手順の簡素化

従来の起動手順は、最初に MGT を単独で起動・併入し、MGT 圧縮機からの空気を SOFC に通気 (空気側連携)してモジュールを昇圧・昇温後、SOFC の負荷を上げて排燃料の発熱量・温度が上がったところで、SOFC の排燃料を MGT 燃焼器 (燃料/空気共に連携)に投入し、複合発電状態を確立していた。これは、発電前の SOFC 燃料排出ガスは可燃成分を含まず温度も低い置換ガスであるため、MGT 燃焼器の安定燃焼に支障をきたすおそれがあったためである。

本プロジェクトでは、起動手順を簡素化するため、起動時に MGT 圧縮機の空気で SOFC を昇圧し通気を開始した後、SOFC の燃料系置換ガスを MGT 燃焼器に供給することを検討した。トヨタ自動車にて MGT 単体で常温の窒素ガスを燃焼器に投入する試験を行い、安定運転ができることを確認した後、SOFC-MGT 複合発電試験装置にて SOFC からの常温の置換ガスを MGT 燃焼器に投入する試験を実施した。MGT への置換ガス投入時の経過を図 III-2.2.21 に示す。システムの空気側連携後に、SOFC 燃料系からの置換ガスを MGT に投入したとき、MGT は回転数・燃料流量を正常に制御し続け、起動時に燃料系も連携した運転に移行できることを確認した。

##### (ii)SOFC 昇圧の迅速化

起動時間を短くするため、SOFC 昇圧時間の短縮について検討した。起動前の冷態では、SOFC 圧力容器内は常温・常圧の状態となっている。MGT を起動した後、MGT 圧縮機からの空気を SOFC 圧力容器に流通し、昇圧を行う。昇圧を迅速に行うには、SOFC 圧力容器への空気流入量を増加することが好ましいが、その分 MGT タービン側に流入する空気流量が減少し、MGT が発電出力を維持できなくなる。このため、本試験では MGT が発電出力下限を下回らないように SOFC の圧力容器昇圧時の空気流入量を調整した。試験結果を図 III-2.2.22 に示す。MGT の出力を変化させる運用にしたことで、図 III-2.2.20 の試験に比べ、昇圧に要する時間を約 1/2 に減少させることができた。

### (iii)SOFC 昇温・負荷上げの迅速化

起動時の燃料連携と SOFC 昇圧法を変更し、冷態から昇温・発電試験を実施した結果を前プロジェクトの結果と比較して図 III-2.2.23(a)に示す。SOFC 圧力容器を昇圧した後、MGT 圧縮機出口の再生熱交換器を経た温空気を SOFC 空気系に流通し、SOFC 圧力容器内の配管・SOFC モジュールを昇温した。発電室内温度が 400℃程度になるまでは、MGT からの温空気で加熱し、その後は SOFC の空気系内で燃料を燃焼し発電室内を昇温した。この試験では燃料燃焼により発電室内を 850℃程度まで昇温した後 SOFC を併入した。従来のシステム(図 III-2.2.23 (b))では、MGT と SOFC の間に設けられた燃焼器で SOFC に供給する空気を加熱していたが、よりセルスタック近傍で燃焼させることにより、400℃以降の昇温速度が大幅に高められていることが分かる。また従来は発電室を 600℃程度まで昇温した後、SOFC の電流負荷を上げてセルスタック自体の発熱を利用して昇温していたが、発電室を 850℃程度まで昇温できているため、SOFC の内部抵抗が小さく、SOFC の電流上昇レートを大きく取ることができた。図 III-2.2.23(a)では、400℃到達前に、実証機を模擬するための温度調整に時間を要したが、昇圧と昇温方法を改善すると共に運転制御を自動化したことにより、冷態起動 24 時間を実現できる見通しを得た。

SOFC-MGT 複合発電システムの運用性向上を検討するため、併せてホットリスタート試験を実施した。これは、昇温に要する時間は 400℃以下の領域が大部分を占めており、運用方法によっては、発電システムを停止して数時間以内に再昇温し、発電システムを起動することも考えられるためである。本試験では発電室温度 600℃から再昇温した結果、温態起動は 8 時間で実施できる見通しを得た。

また前プロジェクトで開発した SOFC モジュールは、本プロジェクトにおいても使用を継続し累積 3500 時間以上の運転と 6 回の起動停止を実施したが、性能低下は観察されなかった。

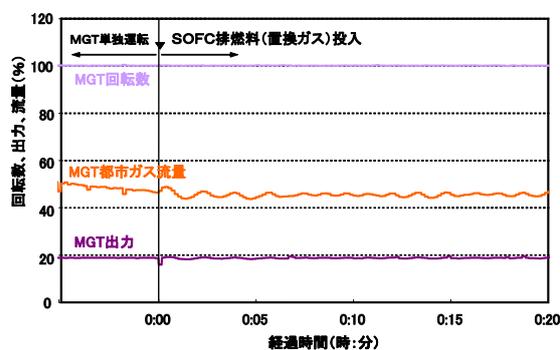


図 III-2.2.21 起動時のMGTへの置換ガス投入試験結果

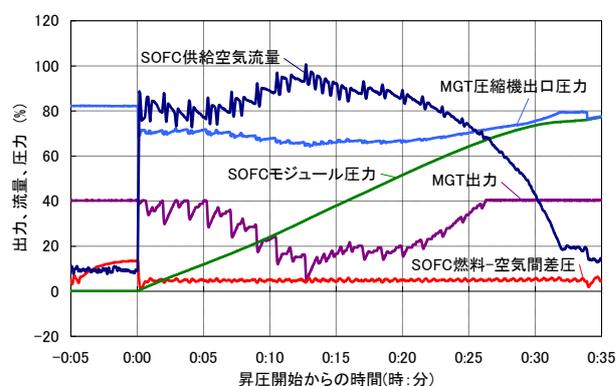


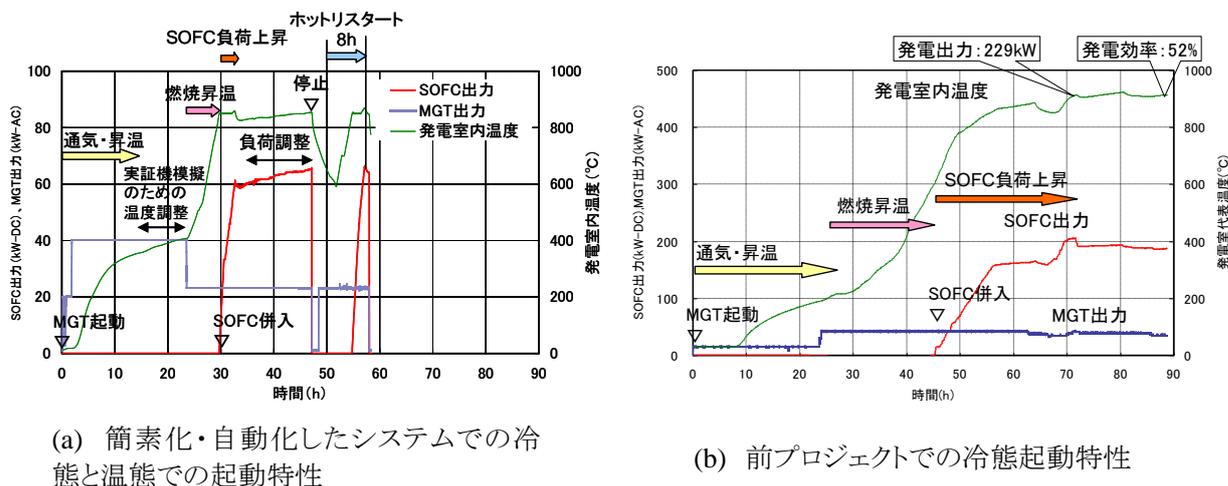
図 III-2.2.22 SOFC昇圧時間の短縮試験結果

### ③複合発電システムのコンパクト化・簡素化

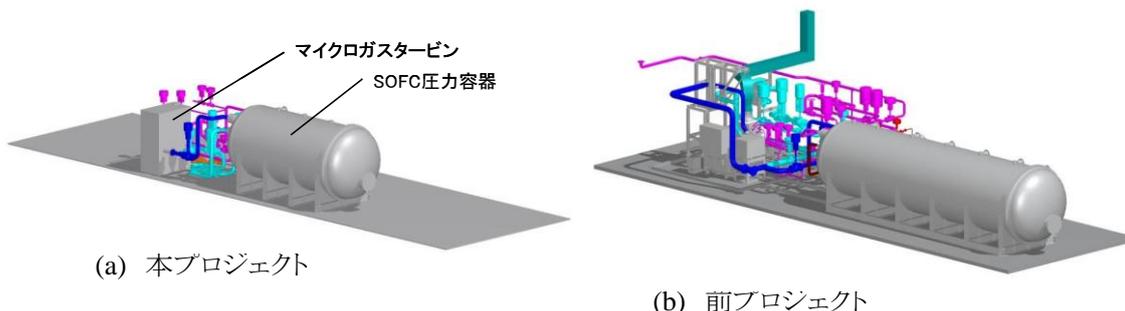
システム要素技術検証試験結果を基に、SOFC と MGT の保護要件を満たした上でシステム全体を簡

素化するための系統構成を検討した。

図Ⅲ-2.2.11(b)と図Ⅲ-2.2.19 に示した密充填カートリッジとトヨタ自動車製のマイクロガスタービンを適用した SOFC-MGT 複合発電システムの全体配置を検討した結果を図Ⅲ-2.2.24(a)に示す。本研究で得られた成果を基に、信頼性を維持した上で高圧運転対応を考慮した制御・弁配置・配管経路等と密充填カートリッジを適用した SOFC モジュール構造を検討した結果、図Ⅲ-2.2.24(b)に示す前プロジェクトで製作した 200kW 級 SOFC-MGT コンバインドサイクルシステムに比べ、1/2 程度の投影面積になることが見込まれる。



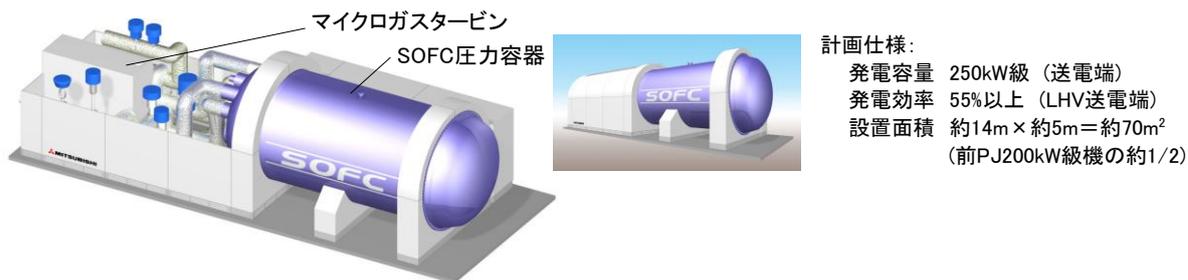
図Ⅲ-2.2.23 SOFC-MGT複合発電システムの起動特性比較(前プロジェクトのSOFCモジュールを使用)



図Ⅲ-2.2.24 200kW 級 SOFC-MGT コンバインドサイクルシステム全体配置図

#### d. 250kW 級 SOFC-MGT 複合発電システム実証機の開発

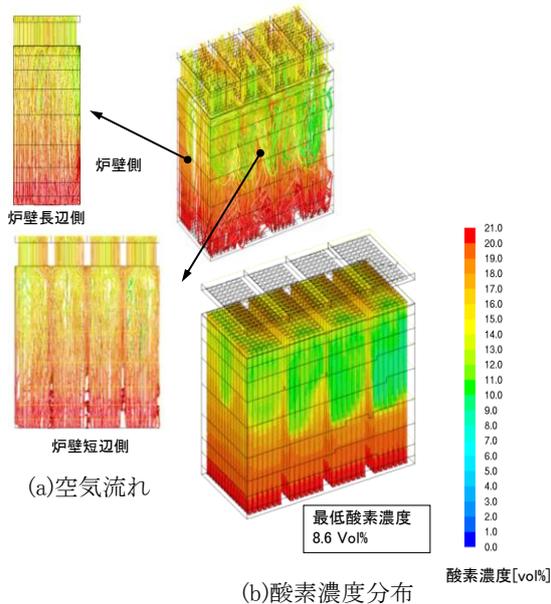
上記の成果を踏まえ、信頼性を向上した上でコンパクト化・簡素化を進めた 250kW 級 SOFC-MGT 複合発電システム実証機を図Ⅲ-2.2.25 に示す。密充填カートリッジとトヨタ自動車製の 50kW 級マイクロガスタービンを適用した 250kW 級(送電端)のシステムであり、最大発電効率は 55% 以上(LHV 送電端)の計画である。設置面積は前プロジェクトの 200kW 級システムの約 1/2 である 70m<sup>2</sup>を計画している。



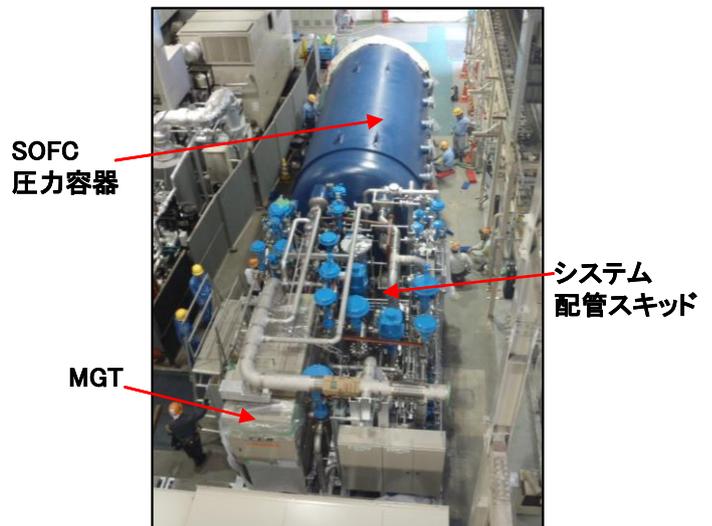
図Ⅲ-2.2.25 250kW 級 SOFC-MGT 複合発電実証機

複数台のカートリッジを並べた場合、流路の広いカートリッジ間に空気がより多く流れ、セルスタック部の酸素濃度が低くなる可能性がある。このため、実証機でのカートリッジ配列を想定した場合の内部での空気流れと発電部での酸素濃度をシミュレーションした。計算はカートリッジ 4 台の 1/2 配列モデルで実施した。カートリッジ内部の空気流れ状況と酸素濃度分布を図Ⅲ-2.2.26 に示す。カートリッジ間での空気流れの入り乱れはないことを確認した。またセル温度が低くなる外周部で部分的に下降流(緑色の流線)が生じ、酸素濃度が低下する傾向が見られるが、最低酸素濃度は約 9% であり、発電性能に影響を及ぼす程の低酸素濃度領域は発生しないことを確認した

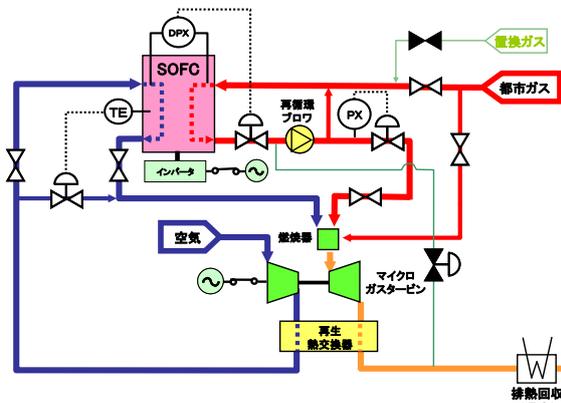
250kW 級 SOFC-MGT 複合発電システム実証機の主系統を図Ⅲ-2.2.27、性能計画を図Ⅲ-2.2.28 に示す。基本系統は前プロジェクトと同様であるが、温水による排熱回収装置も採用したコージェネレーションシステムであり、ベントスタックも 1 本に削減する等の改良を施している。補機動力は燃料再循環用のプロワ動力が主であり、補機動力を差し引き、送電端出力 250kW、送電端効率 55% (LHV)、総合効率 73% を実現する計画である。図Ⅲ-2.2.29 に 250kW 級実証機の据え付け状況を示す。工事を順調に進めており、機器単体試運転、システムの気密試験等の冷態での試運転を実施後、平成 24 年度下期より計画通り運転試験を開始する予定である。



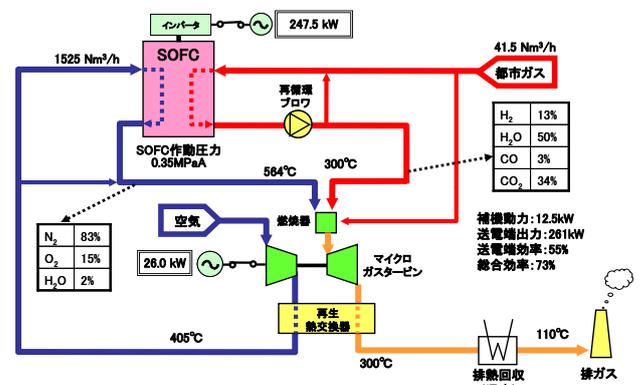
図Ⅲ-2.2.26 250kW 級 SOFC-MGT 複合発電実証機のモジュール内の空気流れと酸素濃度分布解析結果



図Ⅲ-2.2.29 250kW 級 SOFC-MGT 複合発電実証機の据付状況



図Ⅲ-2.2.27 250kW 級 SOFC-MGT 複合発電実証機の主系統図



図Ⅲ-2.2.28 250kW 級 SOFC-MGT 複合発電実証機の性能計画

#### (4)まとめ及び課題

##### a. まとめ及び成果

SOFC-ガスタービン複合発電システムの信頼性向上による高圧運転技術を確立するため、SOFC 特有の要素であるセルスタック・モジュール、複合発電システムとしての要素技術を開発した。セルスタックでは、インタコネクタ高密度化等の改良により、実運用で想定される酸化還元サイクルを受けても損傷しないセルスタックを開発した。また基礎的・要素的技術開発と連携し、耐久性 0.25%/1000 時間以下を実現すると共に、前プロジェクトで 3000 時間以上運転したセルスタックについて解体分析し、加圧下において微構造変化と元素拡散は常圧と同様であり、Cr 被毒も抑制できていることを確認した。

モジュールでは、密充填形カートリッジを設計・製作し発電特性・伝熱特性が計画通りであり金属製燃料ヘッダの耐久性も確保されていることを検証すると共に、実証機で想定される空気流量アンバランス、過差圧、インターロックが発生してもセルスタック・カートリッジが健全であることを確認した。更に、密充填カートリッジの事業用 GT でのトリプルコンバインドシステムへの適用可能性を検討した結果、発電に支障のない伝熱量、温度分布、酸素濃度分布が得られることを確認した。システムでは、3000 時間以上発電した SOFC モジュールとトヨタ自動車製 MGT を連携したシステムを使用し、インターロック時の保護動作を検証すると共に起動条件の簡素化、迅速化について検討し、冷態 24 時間、ホットリスタート 8 時間を実現できる目処を得た。

これらの成果を基に、温水回収のコージェネレーションを適用した 250kW 級 SOFC-MGT 複合発電システムを製作中であり、SOFC 圧力容器とシステム配管スキッドを共同実施先である東京ガス千住サイトに据付け、順調に工事を進めている。平成 24 年度下期より運転試験を行い、発電効率 55% (LHV 送電端) を達成する計画である。

##### b. 今後の課題

セルスタックについては、酸化還元耐性を改善したセルスタックの 250kW 級 SOFC-MGT ハイブリッドシステム実証機での検証を進めるとともに、事業用大型 GT との連携を実現するため、「固体酸化物形燃料電池を用いた事業用発電システム要素技術開発」プロジェクトにおいて、2MPa-a レベルでの性能検証と経時電圧変化特性を検証し、高圧下での課題を明確にするると共に基礎的・要素的技術開発を継続し、改善を進めていく。

モジュールについては、密充填カートリッジをハイブリッド実証機に適用し、性能、耐久性、信頼性を検証すると共に、セルスタック同様、より高圧下での過酷試験・破壊試験を実施して課題を明確にし、トリプルコンバインドの実現に向けた設計に反映する。

信頼性・耐久性を高めたセルスタック・モジュールの運用限界に基づき、複合発電システム全体でのフェールセーフシステムを適用した実証運転にて、発電効率及びシステムの健全性と耐久性を検証するとともに、加圧形燃料電池システムに義務付けられている常時監視に関する規制緩和も実現する必要がある。また、SOFC-MGT 複合発電システムの実用化には、信頼性を維持した上で競合機種と伍するコスト競争力を実現するばかりでなく、ユーザーニーズに応じた商品性の向上を実現する必要がある。更には事業用 SOFC-GT-ST から構成されるトリプルコンバインドサイクルの実現に向けたシステム要素技術開発も行う必要がある。

#### (5) 成果の意義

前プロジェクトでは、200kW 級 SOFC-MGT 試験機を製作・運転し、発電効率 52% (LHV 送電端)以上、最大出力 229kW-AC(発電端)と目標を超える成果を得た。その後、3,000 時間の運転を実施し、経時

耐久性・熱サイクル耐性が目標値以上であることを確認した。

SOFC 複合発電については、米国 DOE プロジェクトで **Siemens-Westinghouse** 社(当時)が実施した例があるものの、前プロジェクトの成果は効率・出力規模とも世界最高レベルである。

現プロジェクトでは、実用を目指して信頼性向上・高圧運転技術開発に取り組み、セルスタック・モジュールの信頼性向上・高圧運転技術開発に関する要素的成果を得るとともに、複合発電システム要素試験では、「起動停止・緊急時の安全停止を可能とする」ことを実験的に確認した。現プロジェクトのこれらの成果を活用し、24 年度下期の実証機検証を経て、数百 kW 級 SOFC-MGT 複合発電を実用に供することを目指している。また本プロジェクトで得た成果より、今年度、「固体酸化物形燃料電池を用いた事業用発電システム要素技術開発」プロジェクトを新たに受託し、発電効率 70%を達成するトリプルコンバインドサイクルシステムの実現に向けて新たな一歩を踏み出すことができた。

プロジェクト終了後の H25 年度から、SOFC-MGT 複合発電システムをユーザに提供する計画である。実用化により、数百 kW 級発電装置市場に極めて高効率で CO<sub>2</sub> 排出量の少ない新機種が投入され、特に熱電比の小さいユーザにとって新たな選択肢が創造されるとともに、国内の機器・補機メーカー、弁・計器類メーカー、材料メーカー、原材料メーカーや工事業者を含めた雇用の拡大が促進され、大きな市場創生効果が期待されると共に国内の産業振興へつながる。

## IV. 実用化、事業化の見通しについて

### 1. 実用化、事業化の見通し

本事業では、2004～2008年度に実施した「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」において明らかになった実用化に向けた課題である「耐久性・信頼性向上」、「低コスト化」、「実用性の向上」を中心に研究開発を推進してきた。また、本事業と並行実施している「固体酸化物形燃料電池実証研究」において実証運転されているSOFCシステムの耐久性に係る課題についても本事業にフィードバックされ、早期解決に導いていく取り組みが為されている。

「耐久性・信頼性向上のための基礎研究」では、耐久試験後のセルスタックの劣化部位を集学的に解析・解明することにより、製造手順と劣化部位との相関を明らかにするなど、セルスタックの改善指針を得ることができた。また、不純物による劣化の一般的モデルを構築して、加速試験のベースとなる知見を得ることができた。さらに、熱膨張や還元膨張を定量的解析可能な機械的信頼性評価技術の構築が進んだ。この結果、参加企業のセルスタックの耐久性は大幅に向上し、最終目標である「劣化率0.25%/1000時間、250回の起動停止を見通す」ことができた。

本事業で得られた知見、例えば、LSC系空気極を用いるセルスタックにおいては空気極/電解質界面の中間層の改良が耐久性向上に重要なこと、合金インターコネクタを使用するセルスタックでは劣化率の電流密度依存性が大きいこと等は企業側に直ちにフィードバックされ、その効果は「固体酸化物形燃料電池実証研究」やセルスタック耐久試験において検証された。こうした取り組みにより、I章3節で述べたように、2011年11月にJX日鉱日石から、2012年4月に大阪ガス・トヨタ・アイシン精機から、SOFCエネファーム（商品名「エネファーム・タイプS」）としての商品化という形で結実した。小型SOFCの商品化は世界初であり、2011年度中に既に700台以上のシステムが出荷されていることは、本事業の成果として特筆される。また、今後の改良モデルに関しても、本事業の成果が活用されることが期待される。

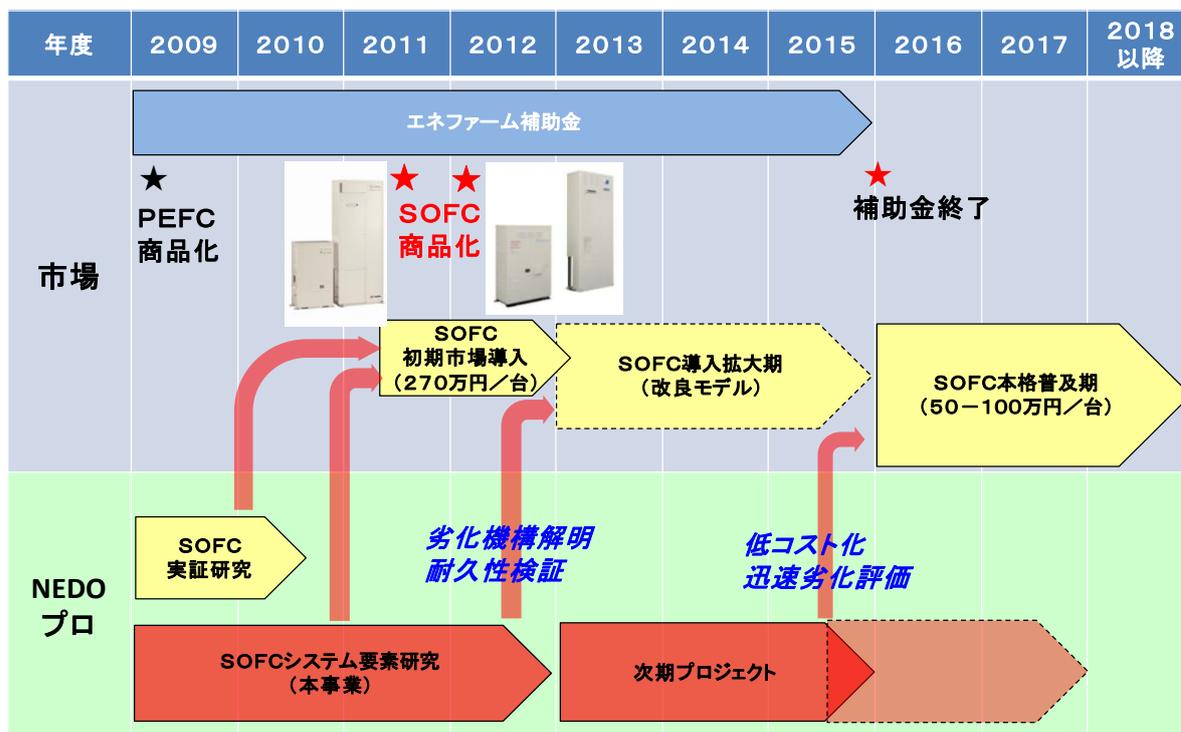
ただし、2015年度頃が想定されるSOFCエネファームの本格普及に向けては、より高いレベルでの耐久性・信頼性の向上と低コスト化の両立が必須であり、そのためには設計段階から低コスト化を目指したセルスタックの開発、およびその迅速な耐久性検証方法の開発が不可欠である。さらに中長期的な要素技術課題としては、SOFCセルスタックのロバスト性・対レドックス耐性の向上、発電出力密度の向上、作動温度低減、製造プロセスの簡略化などが重要と考えられる。

原料・部材の低コスト及び低コストセルスタック・モジュールの開発」では、金属インターコネクタの耐久性を大幅に向上することができ、合金設計の方針を確立することができた。また、セルスタックの低コスト化を実現し得る材料の開発方針を決定することができた。

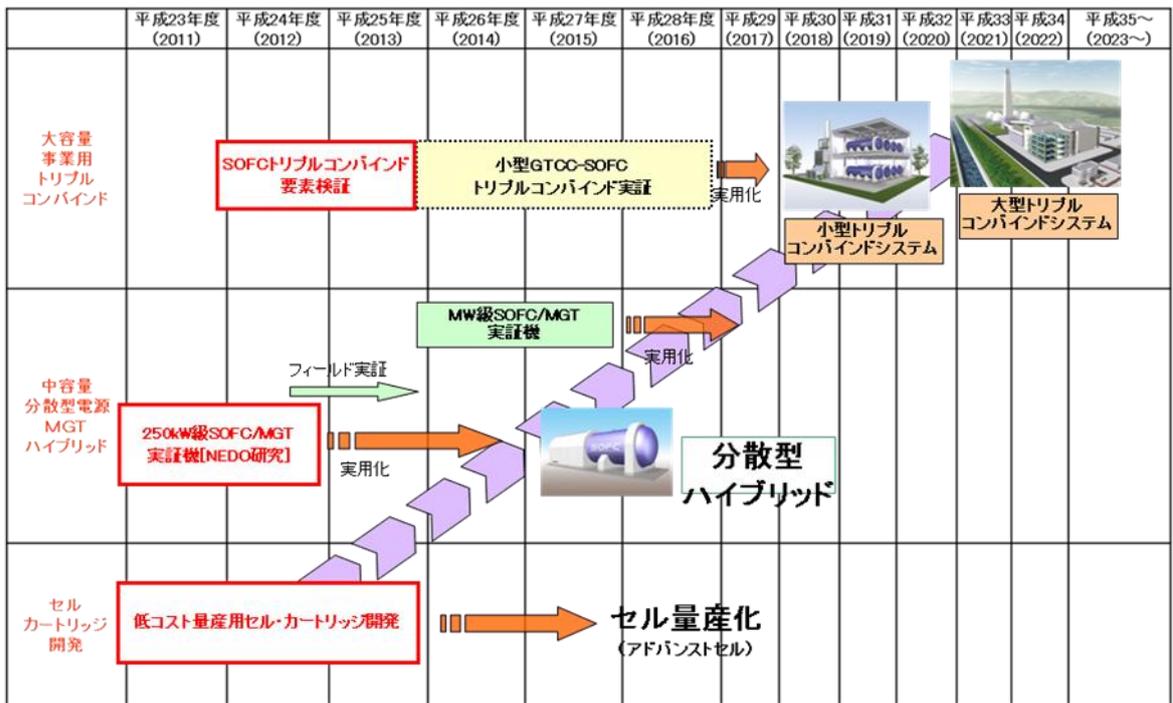
さらに、「運用性向上のための起動停止技術開発」では起動停止250回の耐久性達成の見通しが得られつつあり、「超高効率運転のための高圧運転技術」では起動停止や緊急時における安全停止動作を確認することができた。

中容量定置用SOFC/GTハイブリッドシステム（250kW級）に関しては、本事業において2012年に実証機検証が計画されており、プロジェクト終了となる2013年度からユーザーに提供することが検討されている。この成果は、2012年度開始の事業「固体酸化物形燃料電池を用いた事業用発電システム要素技術開発」において、MW級トリプルコンバインドシステムの開発にも適用されている。

以上のように、本事業の成果により、SOFCシステムはまず小型家庭用システム「エネファーム・タイプS」として商品化され、中規模～大規模システム開発も実証研究が開始された。今後は、2015年度以降に見込まれる本格普及機へ向けた、低コスト・高耐久セルスタックの開発、および劣化機構の迅速評価手法の開発が不可欠である。現在国内に主要なセルスタック供給者が不在である小中規模システム（2～100kW級）、及び2012年度より検討を開始している事業用大規模システムについても、それぞれに適用可能な低コスト・高耐久セルスタック開発と劣化迅速評価手法開発が、その成否を分ける必要不可欠な技術開発と考えられる。



図IV-1 事業化シナリオ（家庭用システム（エネファーム））



図IV-2 事業化シナリオ（産業用、事業用）

## 2. 波及効果

本事業は、SOFCについて熱力学的・化学的・機械的解析および三相界面の微細構造解析による劣化機構の解明と加速劣化因子の抽出、劣化対策の立案・検証、余寿命評価式の確立等を産学が協調して進めており、燃料電池、電気化学、材料科学・技術の進歩に大きく貢献するものである。その波及効果として以下の①～④が挙げられる。

### ① 低温形電気化学デバイスへの応用

局所抵抗近似に準拠したモデルの適用性は広く、他の高温デバイスあるいは低温形の電気化学デバイスにも応用が可能である。シミュレーション技術においては、通常の高温システムに必要な要素に加え、電気化学的反応と機械的安定性の評価が不可欠である。このような複雑なシステムのシミュレーション技術は、低温形電気デバイスなどにも適用できる。

### ② 電極微構造の解析技術

本事業で確立した電極微構造の三次元像の構築と利用あるいはSIMSによる局所的な濃集の観察は、どの工学的な分野にも応用できるものである。

### ③ 高温不純物解析技術

従来、不純物濃度は0.1%程度のものしか議論されてこなかった。本事業で取り扱ったように1 ppmレベルで解析すると、大きな視野が開かれる。

### ④ プロジェクトマネジメントの他分野への適用

燃料電池のように競合技術が存在し、その技術に対向して導入メリットを勝ちとって行くためには、コスト低減とシステムの開発を同時並行的に行わなければ成らない。本事業では、本格的な産学の連携によって、先進的基盤技術を固めることで、このような技術の発展を促すことができおり、他分野のプロジェクトにも応用できる。

## (添付資料)

- エネルギーイノベーションプログラム基本計画..... 添付資料 1 - 1
- イノベーションプログラムについて ..... 添付資料 1 - 2
- 「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」基本計画 ..... 添付資料 2
- SOFCロードマップ詳細版 ..... 添付資料 3

### 事前評価資料

- 事前評価書 ..... 添付資料 4 - 1
- NEDO POST 3 ..... 添付資料 4 - 2
- パブリックコメント ..... 添付資料 4 - 3
- 特許論文リスト ..... 添付資料 5

## エネルギーイノベーションプログラム基本計画

### 1. 目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。以下に5つの政策の柱毎に目的を示す。

#### 1－Ⅰ. 総合エネルギー効率の向上

1970年代以来、官民をあげて省エネルギーに取り組み、産業構造の転換や新たな製造技術の導入、民生機器の効率改善等により世界最高水準の省エネルギーを達成している。今後、「新・国家エネルギー戦略」に掲げる、2030年までにGDPあたりのエネルギー利用効率を約30%向上を実現していくためには、産業部門はもとより、全部門において、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発とその成果の導入を促進する。

#### 1－Ⅱ. 運輸部門の燃料多様化

ほぼ100%を石油に依存する運輸部門は、我が国エネルギー需給構造上、最も脆弱性が高く、その需給構造の次世代化は、将来に向けた早急な対策が不可欠な課題となっている。

「新・国家エネルギー戦略」に掲げる目標（2030年に向け、運輸部門の石油依存度が80%程度となることを目指す）の実現のためにも、官民が中長期的な展望・方向性を共有しつつ、技術開発と関連施策を推進する。

#### 1－Ⅲ. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーは、エネルギー源の多様化や地球温暖化対策の観点から重要である。しかし、現時点では経済性や出力安定性といった普及へ向けての課題が存在する。

そのため、これらの課題解決に向けた技術開発の推進及び新エネルギーの導入促進のための関連施策の実施により、更なる新エネルギーの普及を推進する。

#### 1－Ⅳ. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

原子力発電は供給安定性に優れ、運用時にCO<sub>2</sub>を排出しないクリーンなエネルギー源である。安全確保を大前提に核燃料サイクルを含む原子力発電を着実に推進する。

#### 1－Ⅴ. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

化石燃料資源の大宗を輸入に依存する我が国にとって、その安定供給の確保は国家安全保障に直結する課題である。このため、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、我が国企業による資源国における資源開発等に対する支援等の施策を進めるとともに、その有効かつクリーンな利用を図る。

## 2. 政策的位置付け

エネルギー基本計画（2007年3月閣議決定）

重点的に研究開発のための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及びその施策として、

1. 総合エネルギー効率の向上に資する技術
2. 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保に資する技術
3. 運輸部門のエネルギー多様化に資する技術
4. 新エネルギーに関する技術
5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用に資する技術

以上が位置づけられている。

新・国家エネルギー戦略（2006年5月）

世界最先端のエネルギー需給構造の実現を図るため

1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 運輸エネルギーの次世代化計画
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画

以上の計画が位置づけられている。また、資源外交、エネルギー環境協力の総合的な強化を図るため、「総合資源確保戦略」が位置づけられている。

第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発課題を重視して研究開発を推進する「推進4分野」であるエネルギー分野、分野別推進戦略（2006年3月総合科学技術会議）における「推進4分野」であるエネルギー分野に位置付けられている。

経済成長戦略大綱（2006年7月財政・経済一体改革会議）

資源・エネルギー政策の戦略的展開として

1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 次世代自動車・燃料イニシアティブ等による運輸エネルギー次世代化
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画
5. 資源外交、環境・エネルギー協力等の総合的な強化

以上が位置づけられている。

京都議定書目標達成計画（2005年4月閣議決定）

「京都議定書の約束を達成するとともに、更に「脱温暖化社会」に向けて長期的・継続的な排出削減を進めるには、究極的には化石燃料への依存を減らすことが必要である。環境と経済の両立を図りつつ、これらの目標を達成するため、省エネルギー、未利用エネルギーの利用等の技術革新を加速し、効率的な機器や先進的なシステムの普及を図り、世界をリードする環境立国を目指す。」とされている。

### 3. 達成目標

#### 3-1. 総合エネルギー効率の向上

転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」などにより、エネルギー消費効率を2030年度までに少なくとも30%改善することを目指す。

#### 3-2. 運輸部門の燃料多様化

バイオマス由来燃料、GTL、BTL、CTLなどの新燃料、電気自動車や燃料電池自動車などの導入により、現在ほぼ100%の運輸部門の石油依存度を2030年までに80%程度とすることを目指す。

#### 3-3. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーの技術開発や燃料電池など革新的なエネルギー高度利用を促進することにより、新エネルギー等の自立的な普及を目指すことで、エネルギー源の多様化及び地球温暖化対策に貢献する。

#### 3-4. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

2030年以降においても、発電電力量に占める比率を30～40%程度以上とすることを目指すため、高速増殖炉サイクルの早期実用化、既設軽水炉代替へ対応する次世代軽水炉の開発、軽水炉技術を前提とした核燃料サイクルの確立、放射性廃棄物対策などの技術開発を推進する。

#### 3-5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

石油・天然ガスの化石燃料の安定供給確保を目指し、資源獲得能力の強化に資する先端的な技術開発を推進するとともに、環境負荷低減のために化石燃料の効率的かつクリーンな利用を促進するための技術開発・導入を目指す。

## 4．研究開発内容

### 4 - . 総合エネルギー効率の向上

#### 4 - - . 共通

##### (1) エネルギー使用合理化技術戦略的開発(運営費交付金)

###### 概要

省エネルギー技術開発の実効性を高めるために、シーズ技術の発掘から実用化に至るまで、民間団体等から幅広く公募を行い、需要側の課題を克服し得る省エネルギー技術開発を戦略的に行う。

###### 技術目標及び達成時期

中長期的視点に立った省エネルギー技術戦略を構築し、技術開発の相互連携によりシナジー効果が発揮され技術開発が促進されるよう、超燃焼システム技術、時空を超えたエネルギー利用技術、省エネ型情報生活空間創生技術、先進交通社会確立技術、次世代省エネデバイス技術の技術群に重点化して、省エネルギー技術戦略に沿った技術開発を戦略的に推進する。

###### 研究開発時期

2003年度～2010年度

##### (2) エネルギー使用合理化産業技術研究助成事業(運営費交付金)

###### 概要

産業界や社会のニーズに応える省エネルギー技術のシーズの発掘とその育成、並びに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。この目的のため、産業界からの期待が高い技術領域・課題を提示した上で、大学や独立行政法人の研究者等から研究開発テーマを募集する。厳正な外部評価によって省エネルギー効果があり且つ独創的・革新的なテーマを選定し、研究者代表者個人を特定して助成金を交付する。

###### 技術的目標及び達成時期

独創性のある研究者等を助成すると共に、中間評価ゲート方式が醸成する競争的環境の下で企業との連携を強化させることにより、10～15年後の実用化が有望な革新的省エネルギー技術の研究開発を促進する。本事業では革新的省エネルギー技術の実用化への第1歩となる特許について、助成期間終了後の出願比率を100%とすることを目標とするとともに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。

###### 研究開発期間

2000年度～

##### (3) 研究開発型中小企業挑戦支援事業(スタートアップ支援事業)

###### 概要

省エネルギー対策に資する中小企業の優れた技術シーズ、ビジネスアイデアの事業化による創業・新事業展開を促進するため、実用化研究開発に要する経費(原材料費、直接人件費、機械装置費、知的財産取得費等)の一部を補助するとともに、補助事業を行う中小・ベンチャー企業等に対して中小企業基盤整備機構によるビジネスプランの具体化・実用化に向けたコンサルティング等を一体的に実施

する。

技術的目標及び達成時期

中小企業の技術開発を推進し、産業におけるエネルギー使用合理化技術の利用を図り、もって、中小企業の振興と経営の安定を促進する。

補助事業期間終了後2年後の採択企業の研究開発成果の事業化率50%を目標とするとともに、省エネルギー技術開発の高度化を戦略的に推進する。

研究開発期間

2004年度～

#### (4) 地域イノベーション創出エネルギー研究開発

概要

地域において新産業の創出に貢献し得るような最先端の技術シーズを基に、企業、公設試、大学等の研究開発資源を最適に組み合わせて形成された共同研究体が行うエネルギー使用の合理化並びに非化石エネルギーの開発及び利用に寄与する実用化研究開発の実施。

技術的目標及び達成時期

研究開発終了後3年後における成果の事業化達成率30%以上を目標とする。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(5) イノベーション実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

(6) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

### 4 - - . 超燃焼システム技術

#### (1) 環境調和型製鉄プロセス技術開発(運営費交付金)(再掲)

概要

高炉ガスからの効率的な二酸化炭素分離と中低温排熱の有効活用及び水素を炭素(コークス)の一部代替として鉄鉱石を還元する革新的製鉄プロセスの開発を行う。

技術的目標及び達成時期

最終的な技術開発目標として製鉄プロセスにおけるCO<sub>2</sub>排出量を30%削減することを目指し、2050年までに実用化する。

研究開発期間

2008年度～2017年度

#### (2) 革新的ガラス溶融プロセス技術開発(運営費交付金)

概要

プラズマ等による高温を利用し瞬時にガラス原料をガラス化することにより、極めて効率的にガラスを気中で溶融(インフライトメルティング法)し省エネに資する革新的ガラス溶融プロセス技術を開発する。

技術的目標及び達成時期

2012年度までに、インフライトメルティング法により原料を溶解する技術、

カレットをガラス原料として利用するため高効率で加熱する技術、カレット融液とインフライトメルティング法による原料融液とを高速で混合する技術を開発する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

### (3) 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、マイクロリアクター、ナノ空孔などの精密反応場を利用し、反応分子の自由な運動を活性種レベルで制御した革新的な化学反応プロセスと新機能材料創成技術の確立を目指す。さらに、マイクロリアクターとナノ空孔反応場の組み合わせ、各反応場とマイクロ波等のエネルギー供給手段との組み合わせにより協奏的反応場を構成し、さらなる高効率生産等を可能にする基盤技術を開発する。これらの技術の確立により、反応システムの小型化、多段プロセスの簡略化等を通じた化学産業の製造工程等の省エネルギー化を図る。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術を軸とし、これらに更にマイクロ波、超臨界流体等のエネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場を構成することにより、これまでにない革新的な化学反応プロセスを確立し、新機能材料創成技術を実現する。さらに、これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬中間体などの部材を開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

### (4) 植物機能を活用した高度モノ作り基盤技術開発

#### i) 植物利用エネルギー使用合理化工業原料生産技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、現在の化学工業プロセスに代わる、植物の有する有用物質生産能を活用した省エネルギー・低環境負荷型の工業原料生産プロセスへの変換を促進する。具体的には、工業原料の生産に関わる重要な物質生産プロセスに関する代謝系をゲノム情報に基づき解析するとともに、有用物質生産制御に必要な一連の代謝遺伝子群の発現を統一的に制御する技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、工業原料として有望なバイオマスとしてイソプレノイド、油脂などの有用物質生産に関わる代謝経路とその調節メカニズム及び生産物質の蓄積・移動に係るメカニズムの解析を行い、関連遺伝子情報を整備するとともに、統括的発現制御技術を開発する。

研究開発期間

2002年度～2009年度

(5) 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発(運営費交付金)

概要

プラント、構造物や自動車等の革新的な高効率化、省エネルギー化、長寿命化、安全・安心化を図るため、最新の科学的知見を導入し、鉄鋼材料及び鋼構造体を超高機能化する基盤的研究開発を行う。具体的には、高強度鋼、高機能鋼の実用化拡大の基盤となる(1)高級鋼厚板(高強度鋼、極低温用鋼、耐熱鋼)溶接部の信頼性・寿命を大幅に向上する溶接施工技術(高密度・清浄熱源溶接技術)及びクリープ破壊、金属組織制御技術を基本とする溶接材料技術(クリープ破壊及び水素破壊の機構解明等を踏まえた)の開発、(2)部材の軽量化を図るために強度、加工性等の最適機能傾斜を付与する機械部品鍛造技術(駆動部材の信頼性確保のための耐疲労破壊特性の向上を踏まえた)の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、高級鋼厚板(高強度鋼・極低温用鋼・耐熱鋼)の溶接を予熱・後熱なしに可能とする溶接技術と材料技術を開発するとともに、傾斜機能部材の鍛造技術を開発する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(6) 高機能チタン合金創製プロセス技術開発プロジェクト

概要

大量の電力を必要とする従来のバッチ処理方式のチタン製錬法(クロール法)を、エネルギー効率の高い連続処理方式へ転換する抜本的なプロセス改善のための技術を開発する。また、併せて、成形性の高いチタン合金設計技術及び成形プロセス技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに省エネ型チタン新製錬プロセスの基盤技術を開発し、2010年までに実用化を目指す。また、本製錬技術により得られるチタンをベースとして、加工性、強度等をさらに向上させた合金設計・成形プロセス技術を確立する。

研究開発期間

2005年度～2008年度

(7) 革新的分離膜技術の開発

概要

河川水等の浄水工程における、微量の有害物質、微生物等の除去に係る水処理技術のうち、分離膜方式による高効率(省エネ)な分離技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2013年度末までに、現行の分離膜に比較して単位処理水量当たり50%のエネルギー削減を図る技術を確立する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

( 8 ) 微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開発

i) 微生物機能を活用した高度製造基盤技術開発 ( 運営費交付金 )

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、省エネルギーかつ環境負荷が少ないといった特徴を有する微生物機能を活用した有用物質の革新的な生産プロセス ( モノ作り ) の技術を構築するため、産業用途に必要な機能既知遺伝子で構成されたゲノムを持ち、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞の創製や、微生物反応の多様化・高機能化技術を開発するとともに、バイオマスを原料として有用物質を体系的かつ効率的に生産する ( バイオリファイナリー ) ための基盤技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞を創製するとともに、バイオプロセスの実用化適用範囲の拡大のための微生物反応の多様化・高機能化技術の開発を行う。バイオリファイナリー技術については、バイオマスを高効率で糖化し、糖から高効率で各種化成品の基幹物質を生産するバイオプロセス体系を構築する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

ii) 微生物群のデザイン化による高効率型環境バイオ処理技術開発 ( 運営費交付金 )

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、従来エネルギー多消費・廃棄物多排出型であった廃水・廃棄物処理において、微生物群の構成及び配置等を人為的に制御 ( デザイン化 ) することで、その処理効率を大幅に向上させ、省エネルギーで廃棄物も少ない高効率型廃水、廃棄物処理の基盤技術を確立する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、特定有用微生物群を人為的に安定導入・維持もしくは人為的に空間配置・優先化させる等のデザイン化技術を開発し、従来の廃水、廃棄物処理に比べより高効率で省エネルギーな処理技術を開発するとともに、実用化に資するための実証可能なテストプラント規模にて評価する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

( 9 ) 省エネルギー型化学技術創成研究開発補助事業

概要

化学産業はそれ自身が裾野の広い産業というだけでなく、自動車、IT機器等の川下製品の部材として産業界・国民生活の様々な分野に深く関連している。従って化学業界において、省エネポテンシャルの大きい有望な技術シーズがありながら民間だけでは十分な研究開発投資が行われていない技術について、戦略的な研究開発支援を実施することにより、化学産業のみならず、各種最終製品、他産業においてエネルギー効率の改善を促進する。

#### 技術的目標及び達成時期

2007年度までに、化学分野の生産プロセスや、製品等に関する環境に配慮した省エネルギー技術の革新に向けて、国内・国際市場の創出・拡大も見据えつつ、将来の発展が有望な技術に関する研究開発を行うことにより、化学産業のみならず、我が国の省エネルギー対策に一層寄与する。

#### 研究開発期間

2004年度～2010年度

### (10) 高効率酸化触媒を用いた環境調和型化学プロセス技術開発プロジェクト

#### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、N-オキシ系触媒等の炭素ラジカル創生触媒を化学反応プロセスに適用し、製造工程の短縮や製造効率の向上を図ることで、温暖化効果ガスの排出抑制や省エネルギー効果など総合的なプロセスコストを低減させるため要素技術の開発を行う。

#### 技術的目標及び達成時期

2008年度までにカルボン酸、アルコール、ケトンなどの含酸素化合物製造プロセスに対し、N-オキシ系触媒を適用していくため、現状の触媒活性・選択性の向上、触媒の安定性・寿命の改善、触媒分離プロセスの効率化等を開発する。

#### 研究開発期間

2005年度～2008年度

### (11) エネルギー使用合理化繊維関連次世代技術開発

#### 概要

製造エネルギーの低減を図ることができる革新的な繊維製品製造技術の開発や、使用することでエネルギー消費の低減が可能となる新たな繊維製品を開発。

#### 技術的目標及び達成時期

2009年度までに、以下の開発を行う。

炭素繊維製造エネルギー低減技術の研究開発

廃棄衣料のリサイクル技術及び高付加価値商品の開発

排水処理における余剰汚泥の減容化技術開発

次世代資材用繊維の開発

ポリエチレンテレフタレート製造エネルギー低減技術の開発

VOC含有廃棄物の溶剤回収及び再利用処理技術の開発

#### 研究開発期間

2005年度～2009年度

### (12) 無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発（運営費交付金）

#### 概要

所用動力が少なく、汚泥発生も少ない嫌気性処理の利点と、良好な水質が得られる好気性処理の利点の双方の特長を生かし、かつ双方の欠点を克服した、省エネルギー性に優れた廃水処理技術を開発する。

#### 技術目標及び達成時期

2008年度までに、既存技術で廃水処理を行った際に発生する汚泥量の70%削減を実現し、廃水処理に要するエネルギーの70%削減を実現する廃水処理システムを開発する。

研究開発期間

2006年度～2008年度

### (13) 高効率ガスタービン実用化技術開発

概要

省エネルギー及びCO<sub>2</sub>削減の観点から電力産業用高効率ガスタービンの実用化を目指し、大容量機(25万kW程度(コンバインド出力40万kW))の高効率化(52%～56%)のために1700級ガスタービンの実用化に必要な先端要素技術を適用した各要素モジュールの検証等を実施する。また、小中容量機(10万kW程度)の高効率化(45%～51%)のために有望とされている高湿分空気利用ガスタービンの実用化に必要な多段軸流圧縮機、多缶燃焼器等の開発を行うとともにシステムの信頼性等の検証を行う。

技術的目標及び達成時期

1700級ガスタービン実用化技術開発：先端要素技術を活用した燃焼器、タービン、圧縮機等各モジュールの検証等を行い、送電端熱効率56%以上の達成が可能なことを確認する。

高湿分空気利用ガスタービン実用化技術開発：2011年までに軸流圧縮機の3.5%(空気重量比)吸気噴霧冷却技術、低NO<sub>x</sub>燃焼技術(運用負荷帯で10ppm以下)等を開発すると共に、実機に近い条件での要素機器の信頼性・耐久性を確認する。

研究開発期間

2008年度～2011年度

### (14) エネルギー使用合理化高効率パルプ工程技術開発(運営費交付金)

概要

紙パルプ産業では、環境に関する自主行動計画に基づき、2010年度までに製品当たり化石エネルギー原単位を1990年度比13%削減し、CO<sub>2</sub>排出原単位を10%削減することを目指し、紙パルプ工程における省エネルギー対策を着実に進めているものの、より一層の省エネルギー対策を進めるためには、技術開発によるブレークスルーが必要となっている。紙パルプ産業は、エネルギー多消費型産業のひとつであり、紙パルプ工程での省エネルギー対策は波及効果が大いことから、紙パルプ工程におけるエネルギー使用合理化に資する技術開発を提案公募により実施する。

技術的目標及び達成時期

京都議定書の第1約束期間中、又は、第2約束期間中を目途として実用化に至るような技術開発を行うことで、京都議定書の第1約束期間の目標を着実に達成するとともに、現在、検討が行われている第2約束期間に向けた省エネルギー対策の更なる深化を進めていく。

研究開発期間

2005年度～2010年度

- (15) 発電プラント用超高純度金属材料開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (16) 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発(4 - - 参照)
- (17) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発(4 - - 参照)
- (18) 石油精製高度機能融合技術開発(4 - - 参照)

#### 4 - - . 時空を超えたエネルギー利用技術

- (1) カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト(運営費交付金)

##### 概要

従来の活性炭電極では不可能な高出力かつ高エネルギー密度の電気二重層キャパシタを実現するため、高度に配向した長尺の単層カーボンナノチューブの大量合成技術を開発するとともに、これを用いたキャパシタ電極の開発を行う。

##### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、単層カーボンナノチューブの高度配向技術及び大量生産技術を確立するとともに、キャパシタ製造技術を確立することで、20Wh/Kgの高エネルギー密度と耐久性を有する電気二重層キャパシタを開発する。

##### 研究開発期間

2006年度～2010年度

- (2) イットリウム系超電導電力機器技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 高温超電導電力ケーブル実証プロジェクト(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) 固体酸化物形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (6) 新利用形態燃料電池技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (7) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (9) 水素貯蔵材料先端基礎研究事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (8) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (10) 固体酸化物形燃料電池実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (11) 風力発電電力系統安定化等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (12) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (13) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### 4 - - . 省エネ型情報生活空間創生技術

- (1) グリーンITプロジェクト(運営費交付金)

##### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展により、ネットワークを流れるデータ量が大幅に増加する中で、IT機器による消費電力量の大幅な増大に対応し、環境調和型IT社会の構築を図るため、個別のデバイスや機器に加え、ネットワーク全体での革新的な省エネルギー技術の開発を行う。

#### 技術的目標及び達成時期

2012年度までに、IT機器・システムのエネルギー消費効率を2倍に向上させる基盤技術を開発する。

#### 研究開発期間

2008年度～2012年度

### (2) 次世代高効率ネットワークデバイス技術開発(運営費交付金)

#### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、ネットワークで伝送されるデータ量の爆発的増加に伴い、関連機器の消費エネルギーが増大している中で、ネットワーク全体の消費電力量を抑制することが喫緊の課題であり、消費エネルギーの低減に大きく貢献するルータ・スイッチの高速化のための研究開発を実施するとともに、機器そのものの消費エネルギーを低減するための研究開発を実施する。

#### 技術的目標及び達成時期

2011年度までに、1チャンネルあたり40Gbps超の通信速度に対応するトラフィック計測・分析・管理技術や40Gbpsのインターフェース、さらなる通信速度向上(100Gbps超)を実現するハードウェア技術、SFQ(単一磁束量子)スイッチに関する実現を可能とするための基盤技術を開発する。

#### 研究開発期間

2007年度～2011年度

### (3) 次世代大型低消費電力ディスプレイ基盤技術開発(運営費交付金)

#### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、次世代の大型液晶及び大型プラズマディスプレイに関する低消費電力ディスプレイを実現するための研究開発を行う。

#### 技術的目標及び達成時期

2011年度までに、液晶に関しては、高効率バックライト、革新的なTFTアレイプロセス技術・製造装置及び低消費電力型の画像処理エンジン等に係る技術を確立する。また、プラズマディスプレイに関しては、超低電圧駆動等に係る技術を確立する。

#### 研究開発期間

2007年度～2011年度

### (4) 有機発光機構を用いた高効率照明の開発(運営費交付金)

#### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、蛍光灯に代わる高効率照明として有機EL発光機構を用いるための技術開発課題(発光効率、演色性、面均一性、生産コスト)等を明らかにし、それをブレークスルーしうる技術シーズを抽出する。

#### 技術目標及び達成時期

2009年までに現在一般に普及している蛍光灯照明に代わる高効率照明としての必要スペックを達成するとともに、次世代照明として同じく期待されているLEDとの差別化要素を技術的に達成し、大面積/高スループット/低コストで量産するプロセス技術を開発する。また、現在蛍光灯の間接・拡散照明が用いられている照明機器を代替する有機EL照明を実用的なコストで製造できる技術を確立する。

研究開発期間

2007年度～2009年度

(5) マルチセラミックス膜新断熱材料の開発(運営費交付金)

概要

住宅やビルなどの冷暖房における大幅な省エネを実現する画期的な断熱性能を示す壁および窓材料を、セラミックスのナノ多孔体構造やナノ羽毛状構造およびセラミックス・ポリマー複合化構造などからなるマルチセラミックス膜アセンブリ技術によって開発する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、熱貫流率(熱の伝わりやすさ)が $0.3\text{ W/m}^2\text{K}$ 以下、壁厚さ10mm程度の超断熱壁材料および熱貫流率が $0.4\text{ W/m}^2\text{K}$ 以下、光(可視光)透過率が65%以上(Low-Eガラス使用)、ヘイズ率が1%以下の超断熱窓材料を実現する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(6) 超フレキシブルディスプレイ部材技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から、製造工程等の省エネルギー化を実現するために行う。従来、表示デバイスの製造には、真空蒸着と高温下での焼成と、それに伴う排ガス排水処理が必須であった。これを、ロールtoロール方式に代替することで常圧、常温下での製造を実現し、フレキシブルな薄型ディスプレイを効率よく製造する。そのために、有機TFT材料およびコンタクトプリント技術等を開発する。

技術的目標及び達成時期

2009年度までに、実用化に向けた実証のための巻き取り方式ディスプレイのプロトタイプを試作する。またフレキシブルデバイス材料開発に貢献する部材ならびに薄膜複合化技術を開発し、これらをパネル化するための実用化技術を確立する。

研究開発期間

2006年度～2009年度

(7) 低損失オプティカル新機能部材技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、近接場光の原

理・効果を応用した低損失オプティカル新機能部材技術を開発し、実用化の目処を得ることを目的とする。動作原理に近接場光を用いるオプティカル新機能部材は、従来の材料特性のみに依存した光学部品では不可能な機能・性能を発揮し、液晶プロジェクター・液晶ディスプレイなど情報家電の省エネルギー、高性能・高信頼化を図る上でのキーデバイスとなることが期待できる。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、共通基盤技術として、ナノ構造部材の設計・作製・評価技術を開発するとともに、ナノ構造部材に発現する近接場光の機能を動作原理とする低損失オプティカル新機能部材を検討し機能を確認する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

#### (8) 高環境創造高効率住宅用VOCセンサ等技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、住宅における換気負荷を最小化することによって省エネルギーを達成するため、VOCセンサ及びモニタリング併用型換気システム等を開発する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、VOCに対して高選択性・高感度性・即応性を有するVOCセンサ及びVOCセンサを用いたモニタリング併用型換気システム等を開発する。

研究開発期間

2005年度～2008年度

#### (9) 革新的構造材料を用いた新構造システム建築物研究開発

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、我が国鉄鋼業の約50%を占める建設市場において、建築物のメインフレームに高強度鋼を用いることで、鉄鋼部材の軽量化(リデュース)とそれに伴う輸送効率の向上、高強度化、非溶接化に伴う部材のリユース促進、製造・施工の省エネ・省力化等を図る。

同時に、柔剛混合構造(高強度鋼とダンパーの組み合わせ)技術の確立、関連法規への対応等により、震度7にも耐えうる新構造システム建築物の建設が可能となり、我が国で大きなリスクである大規模地震災害から国民を守り、安心安全社会の実現に寄与する。

技術目標及び達成時期

2013年度までに、最大規模の地震(震度7)に対しても倒壊・損壊しない建築物を高強度鋼(800N/mm<sup>2</sup>級鋼材)とダンパーの組み合わせによる柔剛混合構造により実現を図るものであり、国土交通省や民間企業と連携してこの建築物のメインフレームに必要な高強度鋼部材、接合法等の開発を行う。主な研究開発目標は以下の通りである。

・震度7弾性新構造システム開発

- ・高強度部材の製造技術開発
- ・超高強度接合部品開発
- ・高強度部材の接合技術開発

研究開発期間

2006年度～2008年度

#### (10) 次世代光波制御材料・素子化技術（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、ガラス材料に関する精密モールド技術を確立し、機能性の高い光波制御素子を低コストで生産できるプロセス技術を開発することで部材の小型化・高機能化を図りつつ、省エネを実現する。

技術目標及び達成時期

2010年度までにサブ波長レベルの微細構造をガラス表面にモールド成形する技術を実現し、実装可能な具体的なデバイスを作製する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

### 4 - - . 先進交通社会確立技術

#### (1) エネルギーITS（運営費交付金）

概要

平成19年5月の「次世代自動車・燃料イニシアティブ」に基づき、運輸部門のエネルギー消費効率改善のため、自動運転・隊列走行技術、高度交通流制御技術等の省エネルギーに資するITS技術の開発を行う。

技術的目標及び達成時期

2012年度までにプローブ情報を利用した信号制御機能の実用化を図るとともに、2020年代に実用化が見通せる運転制御、隊列走行の基盤技術の確立を目指す。

研究開発期間

2008年度～2012年度

#### (2) 革新的次世代低公害車総合技術開発（運営費交付金）

概要

大気環境・地球温暖化・エネルギー問題の同時解決に向けて、次世代の低公害車の技術開発を実施する。

特に、都市間の輸送に用いられる「都市間トラック・バス」を中心とした分野における要素技術の開発を自動車技術・燃料技術の両面から実施していく。

技術目標及び達成時期

平成20年度において、都市間の輸送に用いられる「都市間バス・トラック」を中心とした分野における次世代低公害車の要素技術を確立する。具体的には、以下のとおり。

- ・燃費向上率

貨物車 現行基準値に対して10%

乗用車 2015年基準値に対して20%

・排出ガス

貨物車 NOx：ディーゼル重量車のポスト新長期（挑戦目標）規制値

PM：ディーゼル重量車のポスト新長期規制値

乗用車 NOx：ガソリン車のポスト新長期規制値

PM：ガソリン車のポスト新長期規制値

研究開発時期

2004年度～2008年度

(3) サステナブルハイパーコンポジット技術の開発（運営費交付金）

概要

炭素繊維複合材料は、軽量、高強度等の優れた特性を有している。従来の熱硬化性樹脂を用いた炭素繊維複合材料では成形性・加工性に乏しくリサイクルが困難であったため、熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料（CFRP）の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、炭素繊維と熱可塑性樹脂との中間基材を開発し、熱可塑性CFRP加工技術を開発する。

研究開発時期

2008年度～2012年度

(4) 次世代構造部材創製・加工技術開発（次世代航空機用）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、航空機、高速車両等の輸送機器への先進材料の本格導入を加速させるため、先進複合材料及び先進金属材料について部材開発、設計試作及び評価を実施することで、軽量化によりエネルギー使用効率を大幅に向上させる革新的な構造部材の創製・加工技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、複合材の構造健全性診断技術、チタン合金の創製・加工技術を確立するとともに、航空機用エンジンへの適用を目指し、耐熱・耐衝撃性に優れた複合材料を開発する。

研究開発期間

2003年度～2012年度

(5) 環境適応型小型航空機用エンジン研究開発（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、エネルギー使用効率を大幅に向上し、環境対策にも優れた次世代の小型航空機用エンジンの開発にとって重要な要素技術の研究開発を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、エネルギー使用効率を大幅に向上する構造設計技術、騒音、NOx等の環境負荷対応に優れた環境対策技術、インテグレーション技術、高バイパス比化等の高性能化技術といった要素技術の研究開発・実証を行う。

研究開発期間

2003年度～2010年度

#### (6) 省エネ用炭素繊維複合材技術開発

概要

航空機、自動車、鉄道、船舶等の輸送機械等における炭素繊維複合材の適用範囲を拡大し、省エネルギーの促進を図るため、先進的な炭素繊維複合材成形技術や、耐雷対策の低コスト化技術等の研究開発・実証を行う。

技術目標及び達成時期

2013年度までに、従来の方法に比べ低コストであり、曲率の大きな部位の成形も行うことができるVaRTM(バータム)法等の炭素繊維複合材成形技術や、炭素繊維複合材を用いた製品の耐雷性能を低コストで確保する技術の研究開発・実証を行う。

研究開発期間

2008年度～2013年度

#### (7) 燃料電池システム等実証研究(4 - - 参照)

### 4 - - . 次世代省エネデバイス技術

#### (1) パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、省エネルギーを進めるために、シリコンよりも材料特性に優れたワイドギャップ半導体デバイスを用いた高効率インバータ等の実用パワーエレクトロニクス機器システムの基盤技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、ワイドギャップ半導体デバイスを用いた高効率インバータ等の実用パワーエレクトロニクス技術を開発する。

研究開発期間

2006年度～2008年度

#### (2) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発 - うち窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発(運営費交付金)

概要

窒化物系化合物半導体は日本が強みを有し、パワーデバイス、高周波デバイス、発光デバイス等、今後のIT社会を支えとなることを期待されている分野である。しかし、既存のバルク単結晶基板成長技術やエピタキシャル成長技術では、従来の半導体では実現できない領域で動作可能なハイパワー、超高効率デバイス性能を十分に引き出すには至っていない。

これを突破するため、大学あるいは研究所を拠点に材料メーカー、デバイスメーカー、装置メーカー等が相互連携して、窒化物半導体の結晶欠陥低減技術やナノ構造作製技術等の革新を図り、これらデバイスの飛躍的な性能向上と消費電力削減の実現を図る。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、次世代窒化物系半導体デバイスを実現する以下結晶作製技術を開発する。

- ・ 基板技術（GaN、AlNバルク結晶作製技術）
  - 口径2～4インチで高品質エピ成膜を可能とする低コストの単結晶基板作製技術の確立。
- ・ エピ技術（エピタキシャル成膜及び計測評価技術）
  - 低欠陥高品質エピ層を実現する成膜技術及び膜成長過程を計測評価する技術の確立。
  - 高出力かつ高安定動作可能なエピ層の実現
  - 高耐圧超高速な新しいデバイス構造の開発

研究開発期間

2007年度～2011年度

### (3) 次世代低消費電力半導体基盤技術開発（MIRAI）(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展、IT利活用の高度化を支え、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、テクノロジーノード（微細化レベル）45nm以細の次世代低消費電力半導体を実現するため、微細加工の基盤技術やマスク（半導体素子製造過程で用いる原板）の低コスト化・製造時間短縮に必要な基盤技術の開発等を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、マスク設計・描画・検査の各工程に共通的なマスクデータ処理技術、繰り返しパターンやパターン重要度を利用した描画・検査高速化技術等の基本的な開発及びEUVLマスク基盤技術として、許容欠陥の指標明確化、ブランクスの位相欠陥検査技術の確立等を完了する。

研究開発期間

2001年度～2010年度

### (4) 半導体アプリケーションチッププロジェクト（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展、IT利活用の高度化を支え、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、情報通信機器、特に、情報家電の低消費電力化を実現できる半導体アプリケーションチップ技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、情報家電の低消費電力化を実現できるアプリケーション

チップ技術を開発する。

研究開発期間

2003年度～2009年度

(5) 次世代高度部材開発評価基盤の開発(CASMAT2)(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。半導体産業分野で、集積回路の消費電力低減に必要な配線形成用各種材料等の開発のネックとなっているナノレベルでの材料間の相互影響を評価可能な統合部材開発支援ツールを開発する。これにより、集積回路の種類やデザインルールに応じて、配線形成用各種材料とプロセスの最適な組み合わせの提案技術(統合的材料ソリューション提案技術)を確立する。

技術的目標及び達成時期

2008年度までに、半導体材料開発に貢献する材料評価基盤を構築するとともに、上記の統合的材料ソリューション提案技術を確立する。また、本プロジェクトを通して得られた基礎データ等については、プロジェクト実施期間中にデータを体系的に整理し、幅広く社会に提供を図る。

研究開発期間

2006年度～2008年度

(6) 次世代プロセスフレンドリー設計技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展、IT利活用の高度化を支え、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、テクノロジーノード45nm以降の半導体に対応するSoC(System on Chip)設計技術を開発する。具体的には、テクノロジーノード45nm以細の半導体の共通設計基盤技術開発として、DFM(Design For Manufacturing)基盤技術を中核とした設計及び製造の全体最適を確保する全く新しいSoC製造フローを開発する。

技術目標及び達成時期

テクノロジーノード45nm以細のSoC開発において製造性を考慮した共通設計基盤技術を確立し、システムLSIデバイスの省エネルギーを実現するとともに、設計生産性を従来予想に比べ2倍にすることを目標とする。

研究開発期間

2006年度～2010年度

4 - - . その他

(1) 希少金属等高効率回収システム開発

概要

小型電子・電気機器にはベースメタルや、金、銀等の貴金属の他、インジウム、ニッケル等の希少金属等を含有している。現状では、これらの機器が廃棄された後は、非常に高温で処理する乾式製錬技術を用いてリサイクル・処理されている

ため、多大なエネルギーを消費するばかりか、回収可能な金属が銅、金、銀等に限定されており、その他の希少金属等は回収できずに廃棄処分されている。このため、湿式製錬技術を活用した高効率な最適技術の開発等を通じて、回収工程の省エネルギー及び希少金属等の回収率向上を図る。

技術目標及び達成時期

- ・ 従来方法（乾式製錬）で処理する場合に比べて、大幅な省エネルギーの実現（省エネルギー効果：原油換算で約78万kl/年削減）
- ・ 廃小型電子・電気機器、廃超硬工具等中に含まれる希少金属等の回収率の向上（インジウム0%→90%、ニッケル50%→95%、コバルト0%→95%、タンタル0%→80%、タングステン90%→95%、レアアース0%→80%）

研究開発期間

2007年度～2010年度

## （2）次世代構造部材創製・加工技術開発（次世代衛星基盤）

概要

国際商業市場における我が国衛星メーカーの競争力を強化するべく、次世代の衛星技術として期待されている、準天頂衛星システム（移動中の利用者等に対し、米国が運用するGPSとの補完による高精度な位置情報等の提供を可能にする新システム）の構築に不可欠な基盤技術（産業競争力強化にも直結する衛星の軽量化、長寿命化に関する技術等）の開発を行う。本プロジェクトの一部については、他部門と比較して需要増加の割合が高い運輸部門のエネルギー消費を抑制すべく、航空機、自動車、高速車両等の輸送機器の軽量化・効率化にも資する複合材料製造設計のための基盤技術を確立するためのものであり、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

静止軌道と一定の角度をなす傾斜軌道に複数の衛星を配置し、見かけ上、常に天頂付近に最低1つの衛星を位置させるシステム。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、準天頂衛星システムの構築に不可欠な基盤技術（産業競争力強化にも直結する衛星の軽量化、長寿命化に関する技術等）の開発を行う。

研究開発期間

2003年度～2010年度

## （3）高効率重金属処理剤研究開発

概要

重金属等によって汚染された土壌、飛灰、ばいじん、排水・廃液等を安全かつ経済的に処理する技術開発として、少量の使用で重金属等を安定的かつ効率的に捕捉できる複合金属汚染土壌のオンサイト処理に適した高性能の無機系重金属等処理剤及び自然環境への負荷が少ない新規有機系処理剤を開発する。

技術的目標及び達成時期

2008年度までに、飛灰における金属選択性が高く安価な重金属等処理・回収剤及び排水中における亜鉛や6価セレンなどを処理できる重金属等処理剤を開発する。

研究開発期間  
2003年度～2008年度

4 - . 運輸部門の燃料多様化

4 - - . 共通

- (1) イノベーション実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . バイオマス由来燃料

- (1) 新エネルギー技術研究開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) E3地域流通スタンダードモデル(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) バイオマス等未活用エネルギー実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) バイオマスエネルギー地域システム化実験事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . G T L等の合成液体燃料

- (1) 革新的次世代低公害車総合技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 天然ガス未普及地域供給基盤確立実証試験(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 天然ガスの液体燃料化(G T L)技術実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . 燃料電池自動車および水素関連技術

- (1) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 新利用形態燃料電池技術開発(運営費交付金)(4 - 参照)
- (4) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (6) 水素社会構築共通基盤整備事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (7) 燃料電池システム等実証研究(4 - - 参照)

4 - - . 電気自動車

- (1) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - . 新エネルギー等の開発・導入促進

4 - - . 共通

- (1) 新エネルギー技術研究開発(運営費交付金)

概要

新エネルギーの自立的普及に向けて、太陽光、風力、バイオマスなど新エネルギー分野でのイノベーションを促進すべく、高効率かつ低コストを目指した先進的技術開発を実施する。具体的には以下の研究開発を実施する。

- A. 革新的な太陽電池の開発を実施する研究拠点を形成し、海外との研究協力等を行いながら、超長期の視野に立って、飛躍的な性能向上を目指した太陽光発電技術の開発を推進する。(革新型太陽電池国際研究拠点整備事業)
- B. 中長期的に、より一層の高効率化と低コスト化を目指して、革新的な材料、構造等を採用した太陽光発電技術の開発を推進する。(太陽光発電システム未来技術研究開発)

- C．2020年の目標発電コスト14円/kWhおよび太陽光発電システムの大幅な効率向上を実現すべく、未来技術研究開発などで得られた要素技術開発の成果の内、実用化が期待できる太陽電池作製に係る技術について課題を設定し早期実用化を助成する。(太陽光発電システム実用化促進技術開発)
- D．電力供給源としての太陽光発電の信頼性を確立し、今後の太陽光発電システムの円滑な普及促進を図るため、太陽光発電システムの大量普及時に不可欠な性能評価技術やリサイクル・リユース技術等システムの共通基盤技術に係る研究等を実施する。(太陽光発電システム共通基盤技術研究開発)
- E．PVシステムの普及拡大のため、「集中連系型太陽光発電システム実証研究」の設備を有効利用しながら、認証制度にも資する複数台連系に係わる試験方法を確立する。(単独運転検出装置の複数台連系試験技術開発研究)
- F．風力発電技術の国際的な動向を把握しつつ、我が国の複雑地形における風力発電利用上の各種課題を克服するための基礎から応用までの技術について研究開発を行う。具体的には我が国の厳しい風特性を反映した風特性モデルの確立及び高々度風況観測を簡便に行うためのリモートセンシング技術の精度検証・評価を行う。
- また、全国規模での落雷電流計測、落雷様相観測による雷特性の把握、落雷特性・落雷保護対策と被害実態との相関把握、上記を踏まえた効果的な落雷保護対策の検討及び実機規模での実雷による保護対策検証等を実施し、高精度落雷リスクマップを作成するとともに、風力発電設備へのより効果的な落雷等に対する対策を策定する。(次世代風力発電技術研究開発事業)
- G．我が国特有の海上特性や気象・海象条件を把握し、これらの自然条件に適した洋上風況観測法や風力発電システムに関する技術開発とその実証を行なうと共に、環境影響評価システム手法を確立する。(洋上風力発電技術研究開発)
- H．バイオマスのエネルギー利用の促進を図るためには、発生地域が分散し、形状・性状が多種多様にわたるバイオマス資源を利用しやすい形態の有用エネルギーへ効率的に転換できる技術を開発する。(バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発)
- I．世界的にもベンチャー企業による太陽光発電、新型風力発電、燃料電池、バイオ燃料分野におけるイノベーション活動が活発化していることを踏まえ、詳細目標設定・多段階選抜形の米国S B I R制度を参考に特定のキーテクノロジーに対するベンチャーのチャレンジを強力に支援する。(新エネルギーベンチャー技術革新事業)

#### 技術目標及び達成時期

- A．2050年までに「変換効率が40%超」かつ「発電コストが汎用電力料金並み(7円/kWh)」の太陽電池を実用化することを目指した研究開発の中で、変換効率40%超の実現に向けた技術の基礎・探索研究段階と位置づけて研究開発を実施する。
- B．2020年頃に業務用電力料金並の発電コスト(14円/kWh、モジュール製造原価として75円/W程度)、2030年頃に火力発電の発電コスト(7円/kWh、モジュール製造原価として50円/W程度)の実現に向けた中・長期的な技術開発を行う。

- C．2015年に向けて市場競争力を備えた本格生産・商用化を目指す。
- D．2020年度の技術開発目標である発電コスト14円/kWhを目指し、中期的な視点での太陽光発電の普及拡大に資する。
- E．2009年度末までに、電力系統側が受け入れ可能な、導入台数の制限のない能動型単独運転検出装置の試験方法を確立する。
- F．2012年度までに、風力発電の基礎から応用までの技術について、国際的な動向を把握しつつ、我が国特有の気象・地形に起因する各種問題（風車耐久性等）を克服するための研究開発を行って、我が国の風車産業の振興に資するとともに、IEA RD&D WINDなどの最先端の国際的風力発電共同研究に研究成果を反映させる。  
また、2012年度までに、高精度落雷リスクマップを作成するとともに、風力発電設備へのより効果的な落雷等に対する対策を策定する。
- G．2013年度までに、我が国の海象・気象条件に適した、洋上風況観測システム、洋上風力発電システム及び環境影響評価の手法等の技術を確立する。
- H．2004年度より、バイオマスエネルギー転換プロセスにおける各工程のボトルネックを抽出し、2008年度までに開発が完了するよう、それぞれのボトルネックをブレイクスルーする要素技術開発を提案公募方式により実施する。更に、2005年度より2009年度まで、バイオマスのエネルギー転換・利用技術等の分野において2030年の普及を目指した新規な革新的技術を開発するための先導技術研究開発を提案公募方式により実施する。
- I．潜在的なオプションの顕在化や関連産業分野の技術開発による技術革新により、新エネルギー導入促進技術オプションの多様化と経済性の向上に寄与する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

## （2）新エネルギー技術フィールドテスト事業（運営費交付金）

### 概要

2010年度の新エネルギー導入目標達成に向け、新技術を活用した太陽光発電及び太陽熱利用システムの有効性の検証、バイオマス熱利用システムの性能・経済性等の検証、風車立地に必要な高所の風況データの収集・解析など総合的な新エネルギーフィールドテストを実施する。具体的には以下のフィールドテストを実施する。

- A．新技術を活用した太陽光発電システム等を設置し、出力特性等の情報収集及び分析を行うことで、その有効性を確認するとともに、ガイドラインの策定等により広く情報発信を行う。（太陽光発電新技術等フィールドテスト事業）
- B．新利用形態の太陽熱利用システムや未利用分野においてシステムを設置し、出力特性等の情報収集及び分析を行うことで、その有効性を確認するとともに、ガイドラインの策定等により広く情報発信を行う。（太陽熱高度利用システムフィールドテスト事業）
- C．広く薄く賦存するバイオマスを、民間企業や研究機関等において研究開発が終了段階をむかえた高効率に熱利用できるシステムを設置し、設置場所の熱需要に合わせたフィールドテストを実施することにより、実運転におけるバイオマス熱

利用転換システムとしての課題抽出、解決を行い、早期実用化を図り、バイオマスエネルギーの導入促進を行う。(地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業)

- D. 風力発電の導入目標(2010年度300万kW)を達成するため、共同研究事業者と大型風車の導入普及に必要な高所の風況データの収集・解析・評価を行い、公開する。(風力発電フィールドテスト事業)

技術目標及び達成時期

- A. 設置システムについて、2007年度に策定したガイドラインを2009年度、2012年度及び2015年度に見直し改訂する。
- B. 設置システムについて、2007年度に策定したガイドラインを2009年度に改訂する。また、2012年度及び2015年度に見直し改訂する。
- C. 一定レベルまで確立されたバイオマス熱利用技術について、性能や経済性等の状況・データを収集・分析し、熱利用システムの有効性を実証するとともに、これらの結果を公表することで汎用性の高い熱利用システムの確立し、2010年度のバイオマス熱利用の導入目標(308万KL)達成を目指す
- D. 2010年度までに、高所の風況データの解析・評価を行い、導入普及に有用な資料の取りまとめを行い、これらの結果を風力発電事業者、研究機関や風力発電事業を計画している各種団体等に公開することにより、風力発電導入の素地を形成し、風力発電の導入を拡大する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

### (3) イノベーション実用化補助金(運営費交付金)

概要

科学技術基本計画における戦略的技術領域・課題にかかる技術課題等で石油代替エネルギーの製造・生成・利用に資する実用化開発を行う民間企業に対し助成支援する。

技術目標及び達成時期

助成事業終了後3年以上を経過した時点で25%の実用化達成率。加えて、知的資産経営の方針に対する審査時の評価を通じて、「技術等の知的資産を活かす経営の下で収益拡大を図る(技術を経営、収益につなげる)」意識を普及させる。

研究開発期間

2000年度～

### (4) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)

概要

産業界や社会のニーズに応える石油代替技術のシーズの発掘とその育成、並びに、石油代替技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。この目的のため、産業界からの期待が高い技術領域・課題を提示した上で、大学や独立行政法人の若手研究者等から研究開発テーマを募集する。厳正な外部評価によって石油代替効果があり且つ独創的・革新的なテーマを選定し、研究者代表者個人を特定して助成金を交付する。

#### 技術目標及び達成時期

独創性のある若手研究者等を助成すると共に、中間評価ゲート方式が醸成する競争的環境の下で企業との連携を強化させることにより、10～15年後の実用化が有望な革新的石油代替技術の研究開発を促進する。本事業では革新的石油代替技術の実用化への第1歩となる特許について、助成期間終了後の出願比率を100%とすることを目標とするとともに、石油代替技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。

#### 研究開発期間

2000年度～

### 4 - - . 太陽・風力

#### (1) 太陽光発電無線送受電技術の研究開発

##### 概要

新たな電力供給方式として地上において様々な用途への応用が見込まれ、また、長期的には将来の新エネルギーシステムとして期待される宇宙太陽光発電システムの中核的技術として応用可能な太陽光発電無線送受電技術を確立するため、安全性等を確保しつつ、太陽エネルギーを効率良く伝送するための要素技術等について研究開発を行う。

#### 技術目標及び達成時期

2010年度までに高効率半導体増幅回路の開発、複数フェーズドアレイパネルの統合による精密ビーム制御技術の開発、高効率受電整流回路の開発を目指すことにより、無線送受電技術の高効率化を図る。

#### 研究開発期間

2008年度～2010年度

### 4 - - . 電力系統制御・電力貯蔵

(1) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

(2) 風力発電電力系統安定化等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

(3) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

### 4 - - . バイオマス・廃棄物・地熱等

(1) E3地域流通スタンダードモデル創成事業(運営費交付金)

##### 概要

離島(全域)におけるエタノール3%混合ガソリン(E3)の製造から給油までの大規模なフィールドテストを通じ、E3利用に関する社会システムモデルの構築と一般社会へ適用する際の技術課題の抽出を行う。

#### 技術目標及び達成時期

2010年の「京都議定書目標達成計画」の導入目標(50万kl)に資するため、2009年度にE3利用の社会モデルを構築し、2011年度までにその検証を行う。

#### 研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) バイオマス等未活用エネルギー実証事業(運営費交付金)

概要

地域に賦存する未活用の資源であるバイオマスをエネルギーとして有効活用するため、溶融ガス化等熱化学的変換技術による燃料化システムやメタンガス等生物化学的変換技術による燃料化システム等の実証試験事業、事業可能性調査等を実施し、利用ノウハウ等を蓄積、本格的なバイオマス等エネルギーの導入を推進する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、バイオマス等の種別やエネルギー変換手法、更には地域特性を加味した一連のエネルギー転換システム毎のフィージビリティスタディや試験設備の設置により、バイオマス等の運搬・収集、エネルギー転換及びエネルギー利用に係るデータの収集、分析、評価を実施し、その結果をフィードバックすることによって本格的なバイオマス等エネルギーの導入を目指す。

研究開発期間

2001年度～2009年度

(3) バイオマスエネルギー地域システム化実験事業(運営費交付金)

概要

バイオマスエネルギーの資源収集・運搬、転換、残渣処理、利用までの一連の利活用システムについての、各要素の連携の最適化を図るための実証を実施することによって、地域特性に適合した地域主導によるバイオマスの地産地消・地域循環型の先導的モデルシステムを構築することによりバイオマスエネルギーの導入を促進する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、国内バイオマス資源の安定的かつ経済的な供給システム、最適なエネルギー転換技術、エネルギー転換後に発生する残渣の処理等の一連の地産地消型エネルギー転換システムについて、ノウハウ蓄積、課題抽出及びその対策方法の策定、技術確立を行う。また、ここで確立されたバイオマスエネルギーシステムは他地域への波及を先導する事例となることを目標とする。

研究開発期間

2005年度～2009年度

4 - - . 燃料電池

(1) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)

概要

自動車用、家庭・業務用等に利用される固体高分子形燃料電池(PEFC)の実用化・普及に向け、要素技術、システム化技術及び次世代技術等の開発を行うとともに、共通的な課題解決に向けた研究開発の体制の構築を図る。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、固体高分子形燃料電池の経済性・耐久性の向上や高性能

化のための技術開発を行い、燃料電池の普及段階へ向けて必要な基本的技術を確立する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(2) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)

概要

燃料電池の基本的反応メカニズムについての根本的な理解を深めるために、高度な科学的知見を要する現象解析及びそのための研究体制の整備を行い、現状の技術開発における壁を打破するための知見を蓄積する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、燃料電池内における反応機構を電気化学(電極触媒反応、イオン移動、分子移動等)及び材料化学(溶解・腐食反応、錯形成反応、ラジカル反応、固相内拡散等)の観点から解明する。また、燃料電池新技術の性能を適切に評価・実証するための基本システムを構築する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(3) 新利用形態燃料電池技術開発(運営費交付金)

概要

ユビキタス社会に対応する燃料電池の実用化・普及拡大を図るため、小型可搬電源となり得る小出力燃料電池等の安全性確保等を目的とする基準・標準化研究開発及び燃料電池の用途開拓のための技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2010年までに、燃料電池の新利用形態、使用環境の拡がり等を考慮した高出力特性等の性能特性向上によって必要となる燃料容器等の周辺機器を含めたシステムの安全・環境基準の設定・標準化、規制緩和に資する試験データの取得、試験方法の開発及びこれらの規格・標準化に準じた新利用携帯用燃料電池技術を開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(4) 高耐久性メンブレン型LPガス改質装置の開発(運営費交付金)

概要

高耐久性の水素透過型メンブレン(膜)を開発し、家庭用LPガス供給システムから高純度の水素を供給可能な高効率LPガス改質装置を開発する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、家庭用LPガス供給システムから燃料電池へ高純度の水素を供給する高効率かつ低コストでコンパクトなメンブレン型LPガス改質装置を開発する。

研究開発期間

2006年度～2008年度

(5) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発(運営費交付金)

概要

固体酸化物形燃料電池(SOFC)は発電効率が高く、分散型電源として期待されるが、実用化・普及のためには耐久性・信頼性向上、低コスト化等の課題を解決することが必要であり、材料開発や劣化要因解明など基盤的な要素技術の研究を行う。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、耐久性・信頼性の向上のための劣化要因解明等の基礎研究、低コスト化のための材料等や高出力セルスタックの開発、起動停止対応等の実用性向上のための技術開発を実施する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(6) セラミックリアクター開発(運営費交付金)

概要

電気化学的に物質やエネルギーを高効率で変換する次世代型セラミックリアクターの実現のため、低温作動と急速作動停止を可能とする材料の開発とマイクロセルの集積構造化技術等の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、新電解質材料の適用や電極反応の高効率化等による、低温作動時(650以下)での出力性能を向上させる材料技術と共に、マイクロセルの集積構造化や精緻なインターフェース構築のための製造プロセス技術を開発。そして、これらの技術を統合することにより、次世代型セラミックリアクターとしてのプロトタイプモジュール実証(出力性能2kW/部等)を行う。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(7) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)

概要

水素の製造・輸送・貯蔵等に係る機器やシステムについて、性能・信頼性・耐久性の向上や低コスト化を目指す水素利用技術の研究開発を行い、水素社会の実現に必要な基盤技術の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、水素製造・貯蔵・輸送・充填に関する機器やシステムの信頼性・耐久性向上、低コスト化、性能向上等実用化検証や要素技術開発、及び当該技術を飛躍的に進展させることができる革新的技術開発や調査研究などを行い、その成果を産業界に提供することにより、水素エネルギー初期導入間近の関連機器製造・普及技術として完成させ、水素社会の真の実現に必要な基盤技術の確立を図る。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(8) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業(運営費交付金)

概要

世界トップ水準の優れた研究者を中核に、国内外の研究機関・企業のバーチャルな連携の下、高圧水素貯蔵に比べよりコンパクトかつ効率的な水素貯蔵を可能とする水素貯蔵材料の性能向上に必要な条件等を明らかにすることにより、燃料電池自動車の航続距離の飛躍的向上を図る。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、水素貯蔵材料の基本原則、さらには水素貯蔵能力の革新的向上に必要な条件を明らかにすることにより、水素をより安全・簡便・効率的かつ低コストに輸送・貯蔵するための技術基盤を確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(9) 水素先端科学基礎研究事業(運営費交付金)

概要

水素の輸送や貯蔵に必須な材料に関し、水素脆化等の基本原則の解明及び対策の検討を中心とした高度な科学的知見を要する先端的研究を、国内外の研究者を結集し行うことにより、水素をより安全・簡便に利用するための技術基盤を確立する。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、水素脆化、水素トライボロジーの基本原則の解明及び対策の検討等を行い、水素をより安全・簡便に利用するための技術指針を産業界に提供する。

研究開発期間

2006年度～2012年度

(10) 水素社会構築共通基盤整備事業(運営費交付金)

概要

燃料電池の導入・普及に資する基盤整備のため、製品性能の試験・評価手法及び国内外の基準・標準の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2009年度を目途に、安全性等に係るデータを取得し、そのデータを基に試験・評価手法の確立、国際標準の確立、規制の再点検を三位一体で進める。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(11) 固体酸化物形燃料電池実証研究(運営費交付金)

概要

発電効率が高く、分散型電源として期待される固体酸化物形燃料電池(SOFC)の研究開発・実用化の促進のため、耐久性を始めとしたデータの取得・課題

抽出等のための実証を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、SOFCシステムの実証試験を数十～数百台規模で実施し、蓄積が不足している耐久性を始めとした実証データの取得・課題抽出等を行い、SOFC技術開発等へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2007年度～2010年度

#### (12) 定置用燃料電池大規模実証事業(運営費交付金)

概要

定置用燃料電池コージェネレーションシステムの実用化開発を支援するため、量産技術の確立と実用段階に必要なデータ収集を行う大規模実証を実施する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、定置用燃料電池を大規模かつ広域的に設置し、実使用条件下における耐久性等の運転データを取得・分析、コストダウンに向けた課題抽出を行い、製品改良へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2005年度～2008年度

#### (13) 燃料電池システム等実証研究

概要

実条件に近い中での燃料電池自動車等の実証走行や、高圧水素貯蔵システム、多角的な燃料供給システムの検証を進め、水素エネルギー社会における水素利用の課題等を抽出するとともに、燃料電池・水素に対する国民的理解の醸成を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実使用条件下における技術的課題を抽出するとともに、環境特性、エネルギー総合効率、安全性、耐久性等に関する基準・標準に資するデータを取得し、燃料電池自動車、水素ステーションの研究開発等へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2006年度～2010年度

### 4 - . 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

#### 4 - . . 軽水炉・軽水炉核燃料サイクル

< 新型軽水炉 >

##### (1) 次世代軽水炉等技術開発

概要

2030年前後に見込まれる大規模な代替炉建設需要に対応するため、安全性・経済性、信頼性等に優れ、世界標準を獲得し得る次世代軽水炉の技術開発を行う

技術目標及び達成時期

2010年度までに、次世代軽水炉の実現に必要な要素技術開発等及びプ

ラント概念の成立性について見通しを得るための概念設計検討を行う。

研究開発期間

2008年度～2010年度（見直し）

< プルサーマルの推進 >

(2) 全炉心混合酸化物燃料原子炉施設技術開発

概要

プルサーマルが当面のプルトニウム利用策として期待されていることを踏まえ、既存の軽水炉に比べ約3倍のプルトニウムを装荷することができる全炉心混合酸化物燃料原子炉に必要な技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、原子炉の開発に必要な設計、解析、試験等を行い、全炉心混合酸化物燃料原子炉技術を確立する。

研究開発期間

1996年度～2011年度

< 軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの円滑な移行のための技術開発 >

(3) 高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発

概要

FBR実証炉及び関連サイクル施設の早期実現を図るため、文部科学省と連携し、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」を推進する。そのなかで、次世代再処理工場から発生する高線量回収ウラン等を既存軽水炉燃料製造施設で取扱可能とする、次世代再処理工場と調和可能な回収ウラン等の除染技術について、調査・基礎試験等を行い、商業的に利用可能な除染技術候補の検討等を実施する。選定された技術については、プロセス試験等を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、回収ウラン等の除染プロセスの候補技術の洗い出し及び候補プロセス技術の基礎試験を終了し、次世代再処理技術との適合性の検証を行い、プロセス試験を実施すべき除染プロセス技術を選定する。

また、2015年までに、選定した除染プロセス技術について工学化規模でのプロセス試験を行い、商業的に利用可能な転換前高除染技術としての実効性を検証する。

研究開発期間

2007年度～2015年度

< ウラン濃縮技術の高度化 >

(4) 遠心法ウラン濃縮技術開発

概要

我が国におけるウラン濃縮技術や生産能力の維持・向上のため、世界最高水準の性能を有するなど国際的に比肩し得る経済性と性能を有する新型遠心分離機を開発する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、国際役務価格\$100/kg SWU相当を目指して、現在実用化している金属胴遠心分離機の約5倍という高い分離性能や同遠心分離器を上回る寿命など国際的に比肩し得る技術レベルを有する新型遠心分離機の開発を目指すとともに、最終仕様の新型遠心分離機を多数台用いたカスケード試験の実施により商用プラントとしての信頼性を確立し、運転要領の策定を行う。

研究開発期間

2002年度～2009年度

#### < 回収ウラン >

##### (5) 回収ウラン利用技術開発

概要

六ヶ所再処理工場で回収される回収ウランを再濃縮し、再び軽水炉で利用するため、濃縮施設等既存施設への影響等を把握し、転換プロセスを中心とした回収ウラン利用技術を開発する。併せて劣化ウラン酸化固形化についても検討を行う。

技術目標及び達成時期

2012年頃までに、劣化ウランの取扱・管理の容易さや貯蔵効率を向上させるための劣化ウラン酸化固形化（再転換を含む）技術の研究開発を行い、同技術に係る基礎プロセスを確立する。2015年度頃までに、再処理により回収される回収ウランの濃縮が可能な商用遠心分離機の設計を確定する。

研究開発期間

2008年度～2015年度

#### < 共通基盤技術開発 >

##### (6) 革新的実用原子力技術開発費

概要

原子力発電及び核燃料サイクルに関する革新的かつ基盤的技術であって実用化につながる研究開発テーマを競争的環境の下で広く提案公募方式により募集し、将来の原子力技術の発展及び技術の多様化につながる研究開発を行う。

なお、実施に当たっては、研究開発の特性に応じて既存技術分野、基盤技術分野、国際協力技術分野の3分野を設け事業を実施する。

技術目標及び達成時期

2012年まで、既存技術分野、基盤技術分野、国際協力技術分野において個別テーマ毎に研究開発を実施する。

なお、既存技術分野は2008年度で終了となる。

研究開発期間

2000年～2010年（見直し）

#### 4 - - . 高速増殖炉（FBR）サイクル

##### (1) 発電用新型炉等技術開発

概要

FBR実証炉及び関連サイクル施設の早期実現を図るため、文部科学省と連携し、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」を推進する。具体的には、実証炉に必

要な要素技術のうち、設計・建設段階において必要となる実プラント技術として、格納容器設計技術、耐震性評価技術、高温材料設計技術、保守技術の試験等を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実証炉の概念設計へ反映しうる設計基準データ等の技術的根拠を得る。

研究開発期間

2007年度～2010年度

(2) 高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発(4 - - 参照)

#### 4 - - . 放射性廃棄物処理処分

(1) 地層処分技術開発

概要

) 地層処分共通技術開発

高レベル放射性廃棄物等の地層処分における共通的技术として、今後段階的に進められる処分地選定の際に重要となる地質等調査技術の高度化開発を行う。

) 高レベル放射性廃棄物関連処分技術開発

高レベル放射性廃棄物処分に係る基盤技術として、人工バリア等の長期性能評価技術、処分場操業の際のオーバーパック溶接や搬送・定置等の遠隔操作技術の開発を行う。

) TRU廃棄物処分関連技術開発

TRU廃棄物の地層処分に係る基盤技術として、高レベル放射性廃棄物との併置処分の可能性も念頭に、TRU廃棄物に固有に含まれる核種の閉じ込め技術や人工バリア等の長期性能評価技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

) 地層処分共通技術開発

2011年度までに、処分地選定の初期段階で必要となる地上からの調査技術のうち、特に沿岸域の環境や高精度での地下水評価等に係る調査評価技術の高度化・確証を行う。

) 高レベル放射性廃棄物関連処分技術開発

2011年度までに、人工バリア等の長期性能評価技術や遠隔操作等の工学技術について高度化を図り、幅広い地質環境に対応可能な技術選択肢と成立性を提示する。

) TRU廃棄物処分関連技術開発

2011年度までに、TRU廃棄物に固有に含まれるヨウ素129や炭素14の閉じ込め、高アルカリ環境下での人工バリアの性能評価等に関し、幅広い地質環境に対応可能なデータ・モデルの整備と技術選択肢の提示を行う。

研究開発期間

1998年度～2011年度

(2) 管理型処分技術開発

）地下空洞型処分施設性能確認試験

概要

T R U 廃棄物や発電所廃棄物等の余裕深度処分において検討されている「地下空洞型処分施設」の成立性確認のため、実規模大の空洞を利用した総合的な確認試験を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、実規模大の空洞内にコンクリートピット等からなる地下空洞型処分施設を構築し、施工性や初期性能の総合的な確認を行う。

研究開発期間

2006年度～2011年

(3) 放射性廃棄物共通技術開発

概要

）放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

放射性廃棄物処分に係る国内外の最新知見の収集・分析、重要かつ基礎的な課題の抽出並びに研究を実施し、長期に及ぶ処分事業等を支える技術基盤の拡充を図る。

）放射性核種生物圏移行評価高度化調査

放射性廃棄物処分の安全評価に共通的な基盤情報として、生物圏における核種移行プロセスを評価するため、日本の風土を反映した核種移行パラメータ・モデルを整備する。

技術目標及び達成時期

）放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

2011年度までに、放射性廃棄物処分に共通的な重要基礎技術として、地質環境の長期安定性評価、人工バリアや岩盤の長期挙動評価等に係る知見を整備する。

）放射性核種生物圏移行評価高度化調査

2011年度までに、沿岸域の環境も含めたわが国表層環境への適用とT R U 廃棄物に固有の核種等を考慮した、生物圏核種移行のモデルとデータベースを構築する。

研究開発期間

2001年度～2011年度

4 - - . 原子力利用推進に資する電力系統技術

(1) イットリウム系超電導電力機器技術開発(運営費交付金)

概要

世界的にも我が国が最先端の技術力を有する次世代高温超電導線材を活用し、経済社会の基盤となる電力の安定的かつ効率的な供給システムを実現するため、系統を適正に制御し、電力供給を安定化させるための技術及び発電電力を無駄なく輸送するための高効率な送電技術の確立を目指す。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、イットリウム系超電導線材を用いたS M E S、電力ケー

ブル、変圧器実現のための重要な技術開発を行い、各機器の成立性を実証する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(2) 高温超電導ケーブル実証プロジェクト(運営費交付金)

概要

革新的な超電導送電技術を確立するため、工業生産プロセスで実用化レベルに達している高温超電導線材を活用し、実用化のための実証試験及び評価を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、200MVA級の中間接続部を有した三心一括型高温超電導ケーブルを、冷却装置や保護装置などの付帯設備とともに66KV実系統に接続して、12ヶ月以上の長期連系試験を行うことによって総合的な安全性や信頼性を実証する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

4 - - . その他電力供給安定化技術

(1) 風力発電電力系統安定化等技術開発(運営費交付金)

概要

大規模風力発電所等の普及拡大時において懸念される周波数変動等系統上の問題対策として、蓄電システムの併設による出力安定化技術を開発し、実態に応じたシステム稼働データの抽出や当該システムの有効性の検証を行う。

技術目標及び達成時期

長期実証運転を強いられた大容量システムの耐久性や信頼性を評価するため解体分析調査を行うことにより、当該技術の有効性を検証するとともに、そのシステムを確立する。

研究開発期間

2003年度～2008年度

(2) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業(運営費交付金)

概要

大規模太陽光発電を電力系統に連系した場合に課題となる系統安定化対策やピーク対策のための技術等を開発するとともに、その有効性を実証する。

また、国内外の先進的な次世代技術の価格性能を比較することを通じて技術開発を加速する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、下記の実証研究を行い、その有効性を確認する。

(イ) 蓄電池等を組み合わせた出力変動抑制システムの有効性。

(ロ) 発電出力のピーク制御(午後のピーク帯へのシフト)の有効性。

(ハ) 大型インバータによる高調波抑制システムの有効性。

(ニ) 国内外メーカーの太陽電池モジュールの特性比較を行い、性能、経済性等を比較・検証。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(3) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)

概要

蓄電池技術は、新エネルギーの出力安定化や燃料電池自動車(FCV)・ハイブリッド自動車(HEV)・電気自動車(EV)等の高効率次世代自動車に共通する重要なコア技術である。そこで、高性能蓄電システムに係る要素技術開発、新材料開発及び基盤技術の開発を行う。

A．系統連系円滑化蓄電システム技術開発

B．次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発

技術目標及び達成時期

A．2010年度末において、寿命10年、コスト4万円/kWh、1MW規模のシステムおよび要素技術の確立と2030年において寿命20年、コスト1.5万円/kWh、20～30MW規模の蓄電システムを見通せる技術開発。また、新エネルギー対応の充放電パターン等、基礎データの整備、大型化に伴う安全性や寿命等の評価手法の確立。

B．2011年度末において、電池開発では、0.3kWhモジュールを作製し、重量エネルギー密度100Wh/kg、出力密度2000W/kg、寿命10年、コスト4万円/kWhを達成すること(条件:3kWhの組電池、100万台生産ベース)。電池構成材料及び電池反応制御技術の開発では重量エネルギー密度200Wh/kg、出力密度2500W/kg、コスト3万円/kWhを小型単電池で達成すること(上記と同条件)。また、電池周辺機器開発では、格段の高性能化、コンパクト化、低コスト化を達成すること。さらに、重量エネルギー密度500Wh/kgを見通せる新規概念・構造の蓄電池基礎開発の他、劣化・寿命診断法、安全性評価などの各種試験法等の開発およびそれら共通基盤技術の基準・標準化。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) 発電プラント用超高純度金属材料の開発(運営費交付金)

概要

従来の金属材料と比べ耐食性、耐久性、加工性などの飛躍的な向上が期待できる超高純度金属材料の発電プラント部材としての実用化を目指し、低コスト・量産化製造プロセス、及び加工・溶接技術等の開発を行い、部材としての実用特性の評価・検証を行う。

また、実用化に向けたフィージビリティ調査を行い経済性の評価等を実施するとともに、材料特性に関するデータベースの整備及びそれに必要な試験研究を行う。

技術目標及び達成時

2009年までに、不純物総量100ppm未満、溶解量数100kg以上の低コスト・量産化技術製造技術を開発するとともに、製造された超高純度材料が発電プラントの各種機器に適用でき、本材料の持つ優れた特性を長期に亘って

発揮できることを確認する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

#### 4 - . 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

##### 4 - - . 石油・天然ガス・石炭の探鉱・開発・生産技術

###### (1) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型ノ特別研究(運営費交付金)

概要

石油及び可燃性天然ガス資源の開発に係る技術の振興を図る観点から、大水深、複雑な地層といった悪条件化が進む石油・天然ガスの探鉱・開発技術、利用拡大が見込まれる天然ガス田の開発促進に資する天然ガス有効利用技術等について、短期間で実用化が期待され、民間ニーズに直結した研究開発を提案公募により実施する。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、我が国の石油・天然ガスの探鉱・開発技術力の向上、及び天然ガスの利用の促進に向けた天然ガスの有効利用技術の開発を行う。

研究開発期間

2001年度～2012年度

###### (2) 石炭生産技術開発(クリーン・コール・テクノロジーの研究開発の一部)

概要

石油代替エネルギーである石炭の安定供給を図るため、低品位炭の有効利用、石炭生産性の向上のための研究開発等を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、インドネシアにおいて低品位炭の有効利用を図ることを目標に、低品位炭の発熱量を高め、自然発火性を抑制する低品位炭改質技術を確立する。

研究開発期間

2001年度～2009年度

###### (3) 石油精製物質等簡易有害性評価手法開発(運営費交付金)

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から、石油製品等に含まれる化学物質によるリスクを把握し、必要な対策を適切に行うことを可能とするため、*in vitro*培養系技術等の活用により遺伝子組換え細胞等を用いた*in vitro*系簡易有害性予測手法、また、トキシコゲノミクスを活用した短期動物試験結果と相関する遺伝子発現データセットを開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、遺伝子導入技術、幹細胞分化誘導技術、生物発光技術等を適用した培養細胞を用いて、試験期間1ヶ月程度、発がん性、催奇形性及び免疫毒性を予測評価できる試験手法を開発し、また、遺伝子発現解析技術を短期動物試験に適用し、28日間反復投与試験結果と相関する遺伝子発現データセット

を完成させる。また、標準的な試験プロトコルを策定する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

#### (4) 石油資源遠隔探知技術の研究開発

概要

我が国が開発・運用する多様な地球観測センサ(ASTER、PALSAR等)の地球観測データを用いて、石油・天然ガス等の安定供給確保のため、資源開発・探査、環境観測等に有効なデータの処理解析手法の研究開発を行う。また、地球観測データのような大容量のデータを容易に扱えるシステムの研究開発を実施することで資源開発・探査、環境観測を含む多様な分野でのリモートセンシングの利用拡大を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、資源開発・探査、環境観測等の分野における地球観測データ処理・解析技術の向上及び地球観測データの利用の拡大を図る。

研究開発期間

1981年度～2010年度

#### (5) ハイパースペクトルセンサ等の研究開発(運営費交付金)

概要

資源開発に有効な岩石・鉱物や地質構造解析の高次元解析を可能とするハイパースペクトルセンサの開発を行うとともに、軌道上におけるデータ取得の実証を行い、センサ技術の確立を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までにスペクトル分解能200バンド前後のハイパースペクトルセンサを開発し、地表面のスペクトル情報を取得して資源開発に有効なセンサ技術の実証を行う。

研究開発期間

2007年度～2011年度

#### (6) 次世代合成開口レーダ等の研究開発

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した合成開口レーダである次世代合成開口レーダ(PALSAR)の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

技術目標及び達成時期

PALSARの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、レーダ技術の高度化(アンテナ指向の電子制御化、分解能の向上、多偏波観測等)を図る。

研究開発期間

1993年度～2010年度

(7) 極軌道プラットフォーム搭載用資源探査観測システムの研究開発

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した光学センサである資源探査用将来型センサ(ASTER)の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

技術目標及び達成時期

ASTERの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、センサ技術の高度化(ポインティング機能の追加、分解能の向上、熱センサの搭載等)を図る。

研究開発期間

1987年度～2010年度

4 - - . 石油・天然ガスの有効利用技術

(1) 石油燃料次世代環境対策技術開発

概要

バイオマス燃料から製造した石油製品が自動車排出ガスに及ぼす影響、新たな自動車燃焼技術(自着火燃焼(着火までに燃料と空気を十分に混合し、その混合気体を点火プラグの使用なしで圧縮することにより着火させる燃焼法でNOx排出低減、熱効率が高い等の利点がある))に適応した燃料に関する技術開発を実施する。

また、建設機械、発電機等のオフロードエンジンの排ガスによる環境負荷低減や石油燃焼機器の効率的な利用を進めるための技術開発を実施する。

技術目標及び達成時期

バイオマス燃料の利用時における、燃料と自動車エンジン技術の両面の影響評価を進め、技術的課題を解決し、運輸部門における燃料多様化を目指す。

また、オフロードエンジンの規制は欧米が先行していることから、2012年頃、欧米において規制強化が予定されている排ガス規制に対応した技術を確立し、我が国における規制強化に対応可能な燃焼技術を実現することを目指す。

研究開発期間

2002年度～2011年度

(2) 石油精製高度機能融合技術開発

概要

石油精製業を中心とする石油コンビナート全体の横断的かつ高度な運営機能の融合を図り、単独企業のみでは達成困難なコンビナート域内の省資源、省エネルギーの向上を進めるため、異業種異企業間における限りある貴重なエネルギー資源の利用効率の高い生産技術に関し技術の開発・実証を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、我が国における他のコンビナートへの波及効果を含め、CO<sub>2</sub>排出量を63万トン/年削減可能とする技術を確立する。

研究開発期間

2006年度～2009年度

### (3) 将来型燃料高度利用技術開発

#### 概要

省エネ、二酸化炭素削減効果が見込まれる燃料電池自動車の燃料である高純度(99.99%以上)水素を安定的かつ経済的に供給することは重要である。石油は、その長所として豊富な水素供給余力と安価な水素製造技術及び全国に展開した災害に強いガソリンスタンドを保有している。これら石油の長所を活かした水素供給システムの確立により、水素社会の早期実現に貢献するものである。本事業では、製油所からの高純度水素供給技術開発とガソリンスタンドを拠点とする高純度水素製造技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

コスト低減のため製油所におけるナフサから高効率(80%以上)な高純度水素製造を可能とする新たな技術を開発する。また、供給地のガソリンスタンドにおいて有機ハイドライドから高純度の水素を高効率(80%)に取り出すための水素発生装置を開発する。また、脱硫後の灯油硫黄分を検出限界以下の10ppb以下とする脱硫剤の開発を行うとともに、貴金属使用量を2-3wt%から0.5wt%以下まで低減しても、従来と同等の高い性能が維持できる改質触媒を開発する。さらに、膜分離型反応器を用いた99.99%高純度水素の製造効率を80%、4万時間の耐久性が期待できる水素製造システムを開発する。

研究開発期間

2008年度～2010年度

### (4) 革新的次世代石油精製等技術開発

#### 概要

原油価格の高騰・高止まりや原油の重質化と製品需要構造変化等の石油を巡る大きな環境変化のなか、連産品である石油製品を今後とも長期的に安定化かつ効率的に供給するためには、製油所の更なる高度化に向けた技術の開発実用化が必要である。このため、非在来型原油を含めた重質油を原料として、製油所におけるボトムレス化、余剰となる分解留分の高付加価値等のためのプロセスや触媒技術等の開発を行う。また、次世代の技術シーズ創出のため、これまでの技術とは異なる発想により我が国唯一の革新的な新規触媒研究、新規膜分技術研究、新規製造プロセス研究等を産官学の連携等により実施する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに重質油対応型高過酷度接触流動分解技術(HS-FCC)については、3千BD規模(商業レベルの1/10規模)の実証研究を通じ、プロピレン収率20%以上(既存技術4%程度)、将来不足が予想される高オクタン価ガソリン基材(RON98(既存技術92程度))の製造を可能とする技術を確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(5) 次世代高信頼性ガスセンサー技術開発

概要

一酸化炭素中毒やガス漏れなどのガス事故を限りなくゼロに近づけるため、センサー素子のナノレベルでのメカニズム解析及び開発設計を行い、コードレスで高信頼性を有する次世代高信頼性ガスセンサー（COセンサー・メタンセンサー）を開発する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、最先端のナノテクノロジーおよびMEMS技術を導入し、電池駆動で5年以上の長寿命、高信頼性（数百PPM以下の故障率）、低コストなCOとメタンのセンサを開発する。

研究開発期間

2008年度～2011年度

(6) 天然ガス未普及地域供給基盤確立実証試験（運営費交付金）

概要

天然ガスの供給手段が存在せず（パイプラインはもとよりサテライト供給でも採算が合わないため）石油等の燃料に依存している地方都市部の中小規模の天然ガス需要に対し、天然ガスハイドレートを利用した、新たな輸送技術を確認する。

技術目標及び達成時期

従来のLNGチェーンによる供給に係る投資コストに対し、そのコストを約1/4に低減する事が可能な天然ガスハイドレート（NGH）供給システムを2008年度までに確立する。

研究開発期間

2006年度～2008年度

(7) 天然ガスの液体燃料化（GTL）技術実証研究（運営費交付金）

概要

硫黄等を含まず排出ガスがクリーン、着火性が高いという特徴を有することから石油系燃料代替として期待されるGTLについて、天然ガス中に含まれるCO<sub>2</sub>を除去せず、原料として積極的に活用することから、従来利用が困難であったCO<sub>2</sub>を多く含むガス田からの天然ガスが利用可能、CO<sub>2</sub>除去装置が不要であることによる生産設備コストの低減が可能、といった強みを有する我が国独自のGTL製造技術の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実証プラントによる運転研究（500バレル/日）を行い、商業規模でのGTL製造技術を確認する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

- ( 8 ) 高耐久性メンブレン型 L P ガス改質装置の開発 ( 運営費交付金 ) ( 4 - - 参照 )
- ( 9 ) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型 / 特別研究 ( 運営費交付金 ) ( 4 - - 参照 )
- ( 1 0 ) 高効率ガスタービン実用化技術開発 ( 4 - - 参照 )

#### 4 - - . オイルサンド等非在来化石資源の利用技術

##### ( 1 ) メタンハイドレート開発促進委託費

###### 概要

日本周辺海域に相当量の賦存が見込まれ、国産のクリーンなエネルギー資源として有望なメタンハイドレートを利用可能とするため、資源量評価手法、生産手法及び環境影響評価手法等の確立のための技術開発を行う。

###### 技術目標及び達成時期

2 0 1 6 年度までに、商業的産出のための技術を整備することを目指し、日本周辺海域におけるメタンハイドレートの賦存状況と特性の明確化、有望賦存海域からのメタンハイドレート資源フィールドの選択及び現場産出試験等による生産手法の確立等を推進する。

###### 研究開発期間

2 0 0 1 年度 ~ 2 0 1 6 年度

##### ( 2 ) 革新的次世代石油精製等技術開発 ( 4 - - 参照 )

#### 4 - - . 石炭クリーン利用技術

##### ( 1 ) 革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト

###### 概要

石炭の高効率な利用を図るために、

- ・ 酸素吹きによる石炭ガス化発電 ( I G F C ) の開発実証
- ・ 化学吸収法による C O 2 の分離・回収技術の実証
- ・ C O 2 を輸送するための船舶の設計
- ・ C O 2 を貯留するための発生源近傍における貯留ポテンシャルやコストの評価
- ・ 石炭ガス化から CCS まで一貫したトータルシステムの設計等を行う。

###### 技術目標及び達成時期

石炭ガス化については、2 0 0 9 年度までに、パイロットプラントにおいて、高圧の石炭ガスから C O 2 の分離・回収技術の確立及びガス化炉の信頼性向上へ向けて、3 炭種以上の適応炭種拡大試験を実施する。また、C C S については、2 0 1 6 年度頃から C O 2 地中貯留の実証試験に着手する。

###### 研究開発期間

2 0 0 7 年度 ~ 2 0 1 2 年度

##### ( 2 ) 国際革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト補助金

###### 概要

石炭火力発電から排出されるCO<sub>2</sub>の削減技術について諸外国との実証普及事業等を実施し、当該技術の普及基盤を整備することにより、エネルギー供給に対する環境上の制約を取り除き、もって我が国エネルギー需給構造の安定化を図る。

技術目標及び達成時期

石炭ガス化技術等実証普及事業では、ゼロエミッション型石炭火力発電の実証プロジェクト(Future Genプロジェクト)への参画を通じた石炭ガス化・発電技術、CO<sub>2</sub>分離回収技術、CO<sub>2</sub>輸送貯留技術等に関する情報収集や関連する技術調査の実施等により、我が国におけるゼロエミッション型石炭火力発電の実用化開発に資する技術・知見を得る。また、将来のCO<sub>2</sub>の地中貯留に際しては、国民の正しい理解が不可欠であり、これを念頭においたゼロエミッション型石炭火力発電に係る普及啓蒙活動を積極的に実施する。

酸素燃焼国際共同実証事業では、既存の微粉炭火力発電の改造による酸素燃焼方式のゼロエミッション型石炭火力発電プラントの実用化を目標とするものであり、既存のプラントの改造により対応可能であること、酸素燃焼を行うことにより、燃焼ガスからCO<sub>2</sub>を分離する装置が不要であることから、比較的低コストで極めて大きなCO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。

研究開発期間

2007年度～2016年度

### (3) 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発費補助金

概要

従来の超々臨界圧火力発電(USC)は、蒸気温度の最高温度は630程度が限界で、送電端熱効率も42～43%が原理的限界といわれてきた。しかしながら、近年の材料技術の進歩により、700以上の蒸気温度を達成できる可能性が見えてきたことから、これらの材料を活用した先進超々臨界圧火力発電技術(A-USC)の開発を行うものである。A-USCは、蒸気温度700級で46%、750級で48%の高い送電端熱効率の達成が可能な技術であり、2020年以降増大する経年石炭火力発電のリプレイス需要に対応するため、早急に技術開発を進める必要がある。そのため、ボイラーメーカー、タービンメーカー及び材料メーカーが共同でA-USCの技術開発に取り組む。

技術目標及び達成時期

平成22年度までにシステム基本設計を完了し、シミュレーションにより送電端熱効率46%～48%の達成が可能なことを確認する。平成24年度までにボイラー、タービン部材等が700以上の蒸気温度に耐えられるかどうかを試作、評価し、経済性を含めたシステム成立性への見通しを得る。平成27年～平成28年度に実缶試験、回転試験を実施し、蒸気温度700以上の条件下でボイラー、タービンの信頼性を確認する。また、ボイラー、タービン部材について3万～7万時間の長期信頼性試験を実施し材料特性を検証する。

研究開発期間

2008年度～2016年度

### (4) 石炭利用技術開発(一部、運営費交付金)(クリーン・コール・テクノロジーの

## 研究開発の一部)

### 概要

環境適合的な石炭利用の拡大を図るため、石炭ガス化、無灰化技術による転換効率向上に資する技術や石炭からの水素製造技術等、クリーン・コール・テクノロジーの開発を行う。

### 技術目標及び達成時期

2008年度までに、

- ・ 石炭から合成ガスや軽質オイルを併産する高効率な石炭部分水素化プロセス技術を20t/日のパイロットプラント規模で確立する(石炭部分水素化熱分解技術の開発)

2009年度までに、

- ・ 化学原料等に利用可能な合成用ガスを石炭乾留ガスから無触媒で製造する技術をパイロットプラントで確立する(無触媒石炭乾留ガス改質技術開発)

2011年度までに、

- ・ 石炭利用プロセスにおいて、環境分析技術の高精度化、環境影響成分の挙動解析のためのモデルの構築等により、環境への影響低減手法を開発する(戦略的炭素ガス化・燃焼技術開発)

### 研究開発期間

1995年度～2008年度(2008年度見直し)

- ・ 戦略的炭素ガス化・燃焼技術開発 2007年度～2011年度
- ・ 無触媒石炭乾留ガス改質技術開発 2006年度～2009年度
- ・ 石炭部分水素化熱分解技術 2003年度～2008年度

## (5) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発費補助金

### 概要

供給安定性に優れた石炭の高効率かつ低環境負荷での利用を図るため、石炭をガス化して燃料とし、コンバインドサイクル(ガスタービンと蒸気タービンの組合せ)を駆動する高効率発電技術(石炭ガス化複合発電技術(IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle)の実証試験を行う。

### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、25万kWの実証機を用いた実証試験により、熱効率40.5%(送電端、高位発熱量ベース)を目指す。この目標は50万kWの商用機における熱効率46～48%に相当する。本技術は実証試験終了後の2010年度より商用化が可能である。

### 研究開発期間

1999年度～2009年度

## (6) 環境調和型製鉄プロセス技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

## 4 - - . その他共通

### (1) イノベーション実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

- ( 2 ) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 3 ) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 4 ) 燃料電池先端科学研究 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 5 ) 新利用形態燃料電池技術開発 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 6 ) 高耐久メンブレン型 L P ガス改質装置の開発( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 7 ) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 8 ) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 9 ) 水素貯蔵材料先端基礎研究事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 10 ) 水素社会構築共通基盤整備事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 11 ) 水素先端科学基礎研究事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 12 ) 固体酸化物形燃料電池実証研究 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 13 ) 定置用燃料電池大規模実証事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 14 ) 燃料電池システム等実証研究 ( 4 - - 参照 )

## 5．政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

### 5 - ．総合エネルギー効率の向上

- 事業者単位の規制体系の導入
- 住宅・建築物に係る省エネルギー対策の強化
- セクター別ベンチマークアプローチの導入と初期需要創出（高効率機器の導入補助等）
- トップランナー基準の対象機器の拡充等
- アジアにおける省エネルギー対策の推進を通じた我が国の国際競争力の向上
- 国民の省エネルギー意識の高まりに向けた取組

### 5 - ．運輸部門の燃料多様化

- 公共的車両への積極的導入
- 燃費基準の策定・改定
- アジアにおける新エネルギー協力
- 国際標準化による国際競争力向上

### 5 - ．新エネルギー等の開発・導入促進

- 事業者支援補助金等による初期需要創出
- 新エネルギーベンチャービジネスに対する支援の拡大
- 新エネルギー産業構造の形成
- 電気事業制度・ガス事業制度の在り方の検討

### 5 - ．原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保

- 電力自由化環境下での原子力発電の新・増設の実現
- 資源確保戦略の展開
- 次世代を支える人材育成
- 中小型炉の海外市場への展開、我が国原子力産業の国際展開支援
- 原子力発電拡大と核不拡散の両立に向けた国際的枠組み作りへの積極的関与
- 国と地域の信頼強化

### 5 - ．化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

- 資源国等との総合的な関係強化（研究開発の推進・協力、人材育成・技術移転、経済関係強化など）
- 化石燃料のクリーンな利用の開拓

## 6．研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金による実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したもの）は、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

また、事業名に（採択テーマ）と記載された事業は、提案公募事業により採択されたテーマを記載したものであり、その採択や評価等は、提案公募事業の実施機関の責任の下、実施されるものである。

## 7. 改訂履歴

- (1) 平成16年7月7日付け、省エネルギー技術開発プログラム基本計画、新エネルギー技術開発プログラム基本計画、燃料技術開発プログラム基本計画、電力技術開発プログラム基本計画、原子力技術開発プログラム基本計画制定。固体高分子形燃料電池/水素エネルギー利用プログラム基本計画(平成16・02・03産局第6号)は、新エネルギー技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (2) 平成17年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第8号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第10号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第12号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第11号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第13号)は、廃止。
- (3) 平成18年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第14号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第9号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第17号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第12号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第13号)は、廃止。また、次世代低公害車技術開発プログラム基本計画(平成17・03・29産局第2号)は、省エネルギー技術開発プログラム基本計画及び燃料技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (4) 平成19年4月2日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・31産局第19号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第15号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第18号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第17号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第16号)は、廃止。
- (5) 平成20年4月1日付け、エネルギーイノベーションプログラム基本計画制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・26産局第1号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・20産局第4号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成19・03・19産局第7号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・16産局第3号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・23産局第2号)は、本プログラム基本計画に統合することとし、廃止。

# イノベーションプログラムについて

平成21年4月27日

経 済 産 業 省  
研 究 開 発 課

## 目 次

イノベーションプログラムの概要	1
1. ITイノベーションプログラム	2
2. ナノテク・部材イノベーションプログラム	3
3. ロボット・新機械イノベーションプログラム	4
4. エネルギーイノベーションプログラム	
① 総合エネルギー効率の向上	5
② 運輸部門の燃料多様化	6
③ 新エネルギー等の開発・導入促進	7
④ 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保	8
⑤ 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用	9
5. 環境安心イノベーションプログラム	10
6. 健康安心イノベーションプログラム	11
7. 航空機・宇宙産業イノベーションプログラム	12

# イノベーションプログラムの概要

## 1. 「イノベーションプログラム」の中での体系的推進 (Inside Management & Accountability)

- 経済産業省の全ての研究開発プロジェクトは、政策目標毎に7つの「イノベーションプログラム」の下で体系的に推進。
- 各プログラムの中で、政策目標に向けたプロジェクトの位置付けと目標の明確化、市場化に必要な関連施策(規制改革、標準化等)との一体化を図り、イノベーション実現に向け各プロジェクトを効果的に推進。

## 2. 「技術戦略マップ」に基づく戦略的企画立案 (Outside Communication & Networking)

- 先端産業技術動向を把握し、国が取り組むべき技術課題とイノベーションの道筋を明確化するため、産学官で協働するロードマッピング手法を導入(『技術戦略マップ 2005/2006/2007/2008』)。
- 研究開発プロジェクトの選定に当たっては、イノベーションプログラムにおける政策目標を基に技術戦略マップに位置付けられた重要技術課題を抽出し戦略的に企画立案。

## イノベーションプログラム (IPG) の21年度予算額 (総額: 1,966億円※1)

IT IPG	ナノテク・部材 IPG	ロボット・新機械 IPG	健康安心 IPG
①ITコア技術の革新 94億円 ②省エネ革新 42億円 ③情報爆発への対応 44億円 ④情報システムの安全性等 63億円 21年度予算 244億円	①ナノテク加速化領域 36億円 ②情報通信領域 28億円 ③ライフサイエンス・健康・医療領域 16億円 ④エネルギー・資源・環境領域 78億円 ⑤材料・部材領域 27億円 ⑥共通領域 4億円 21年度予算案 188億円	①ロボット関連技術開発 38億円 ②MEMS関連技術開発 12億円 21年度予算 50億円	①創薬・診断技術開発 102億円 ②診断・治療機器・再生医療等の技術開発 28億円 21年度予算 130億円
エネルギー IPG	環境安心 IPG	航空機・宇宙産業 IPG	
①総合エネルギー効率の向上 707億円 ②運輸部門の燃料多様化 278億円 ③新エネルギー等の開発・導入促進 369億円 ④原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保 268億円 ⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用 479億円 21年度予算 1,281億円※2	①地球温暖化防止新技術 60億円 ②3R 33億円 ③環境調和産業バイオ 57億円 ④化学物質総合評価 11億円 ⑤共通領域 4億円 21年度予算案 165億円	①航空機産業の基盤技術力の維持・向上 233億円 ②宇宙産業の国際競争力強化 87億円 21年度予算案 320億円	

※1 各イノベーションプログラムにおけるプロジェクトの重複を排除した額 ※2 各サブプログラムで重複があるため小計と一致しない

## 1. IT イノベーションプログラム

【平成21年度予算額 243.5億円】

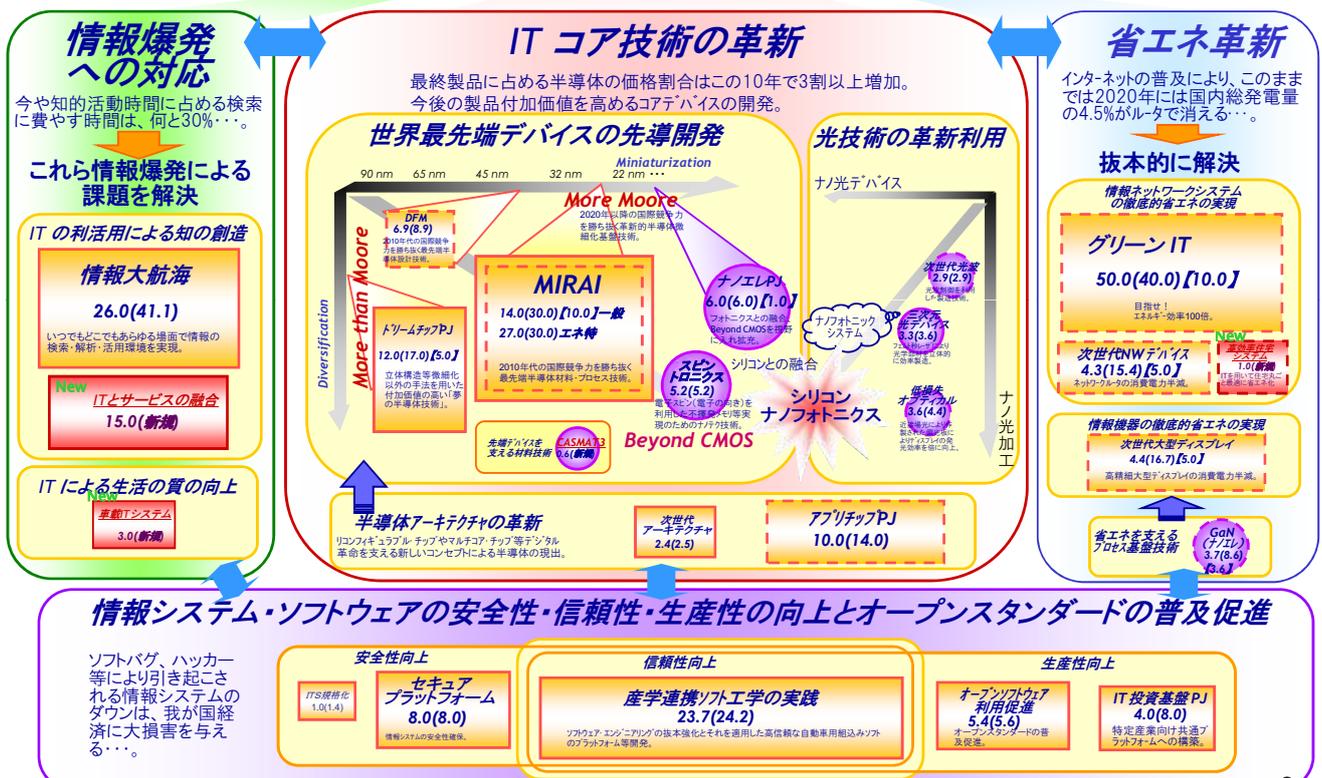
※各プロジェクト毎の予算額は21年度予算(20年度予算)[20年度補正予算]

一般会計 特別会計

高度情報通信  
社会の実現

社会基盤を支えるIT技術。これらを活かし、イノベーションを創出するとともに、IT産業再編を促し、選択と集中を図りつつ、持続的に競争力を強化する。

IT産業の国際  
競争力の強化



## 2. ナノテク・部材イノベーションプログラム

【平成21年度予算額：188億円】

※各プロジェクト毎の予算額は21年度予算(20年度予算)【20年度補正予算】

○あらゆる分野に対して高度化・不連続な革新をもたらすナノテクノロジー・革新的部材技術を確立する。  
○我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服を可能とする。

● 一般会計 ● 特別会計



### IPGの目標

-ナノテクによる非連続技術革新-

世界に先駆けてナノテクノロジーを活用した不連続な技術革新を実現する。

-世界最強部材産業による価値創出-

我が国部材産業の強みを更に強化することで、他国の追随を許さない競争優位を確保するとともに、部材産業の付加価値の増大を図る。

-広範な産業分野での付加価値増大-

ナノテクノロジーや高機能部材の革新を先導することで、これら部材を活用した情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどの幅広い産業の付加価値の増大を図る。

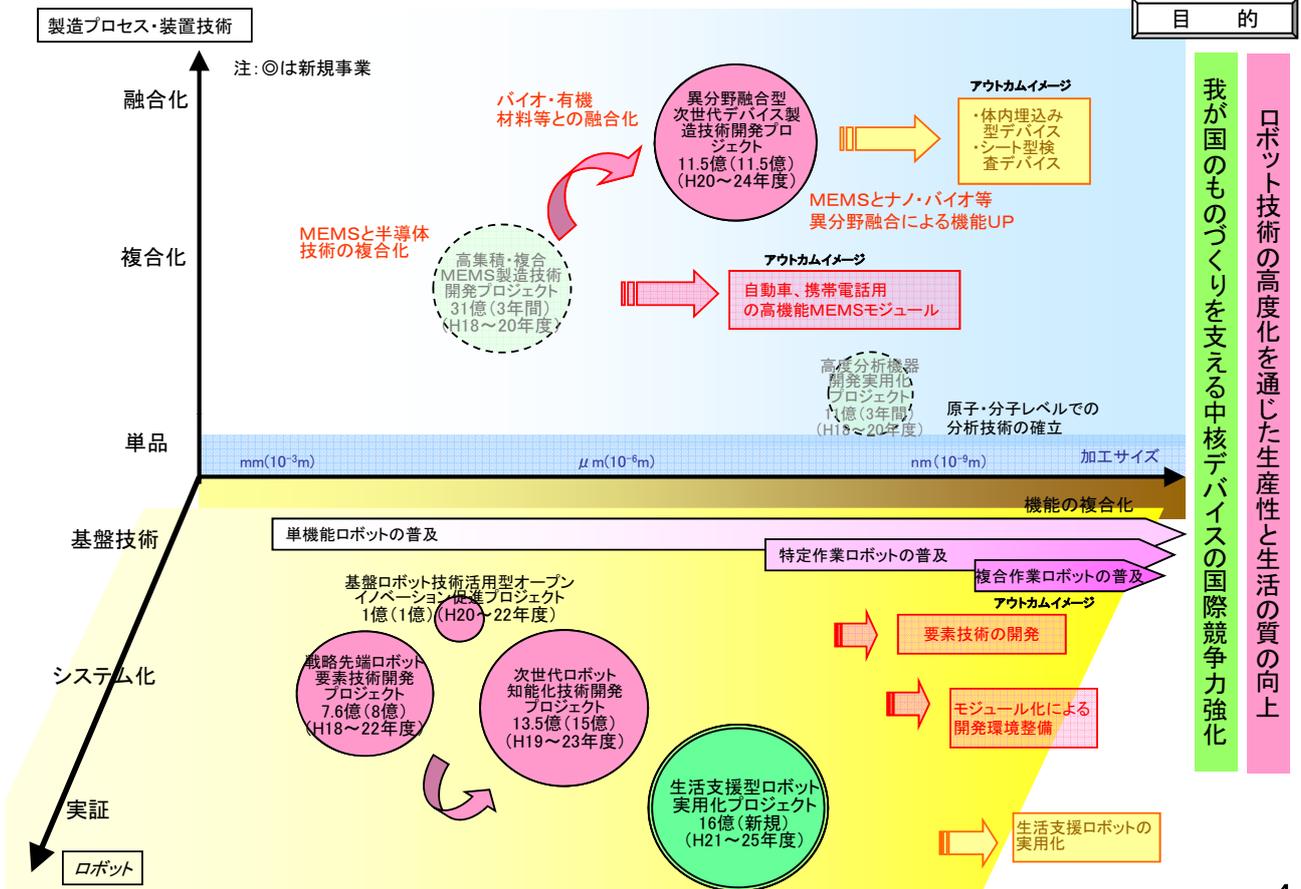
-エネルギー制約・資源制約などの課題解決-

希少金属などの資源制約の打破、圧倒的な省エネルギー社会の実現など、解決困難な社会的課題の克服を目指す。

## 3. ロボット・新機械イノベーションプログラム

【平成21年度予算額：50億円】

※各プロジェクト毎の予算額は、21年度予算(20年度予算)

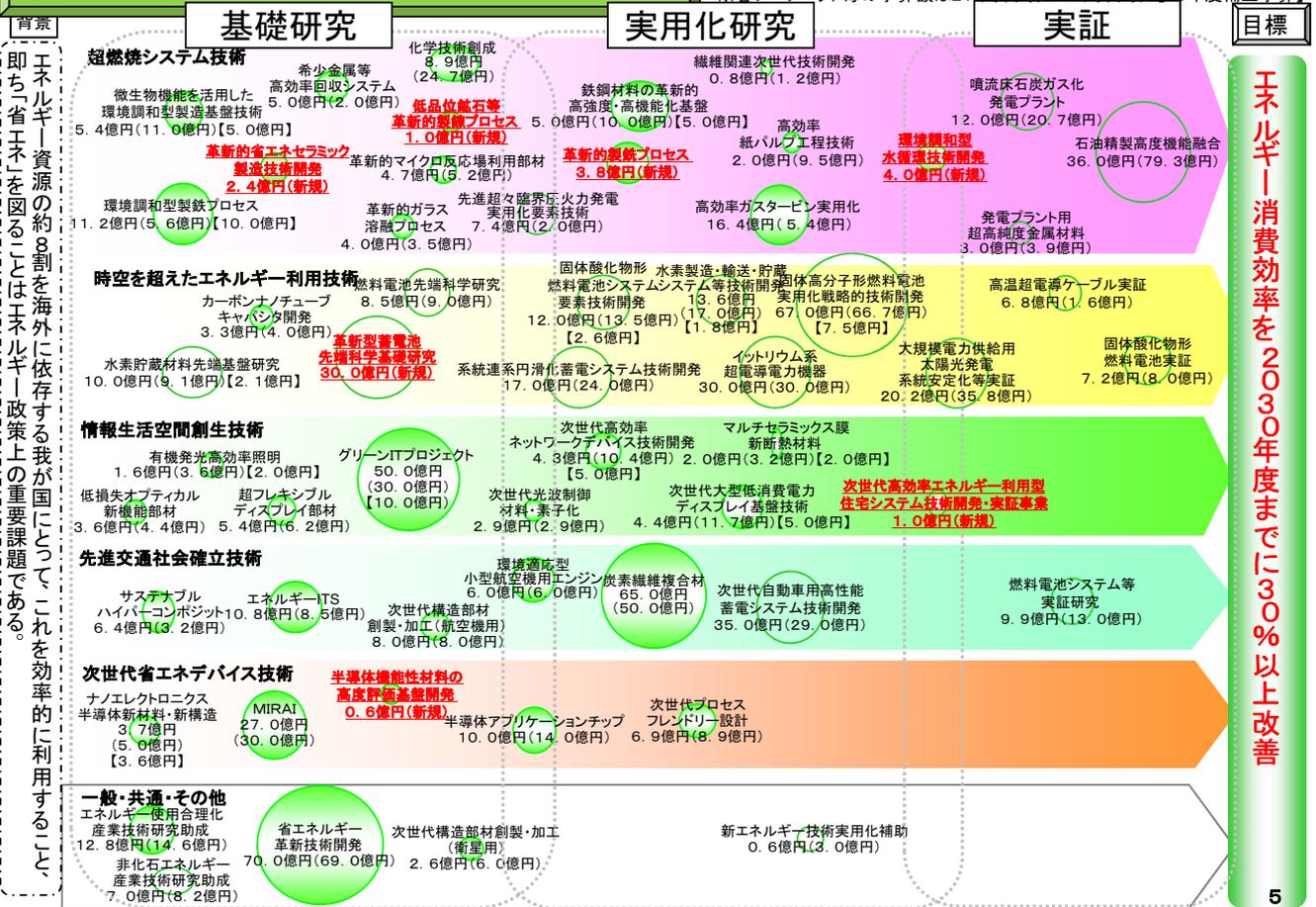


# 4. エネルギーイノベーションプログラム

## ①総合エネルギー効率の向上

【平成21年度予算案：707億円】

※基礎、実用、実証の区分内は、任意に配置。  
※各プロジェクト毎の予算額は21年度予算(20年度予算)【20年度補正予算】

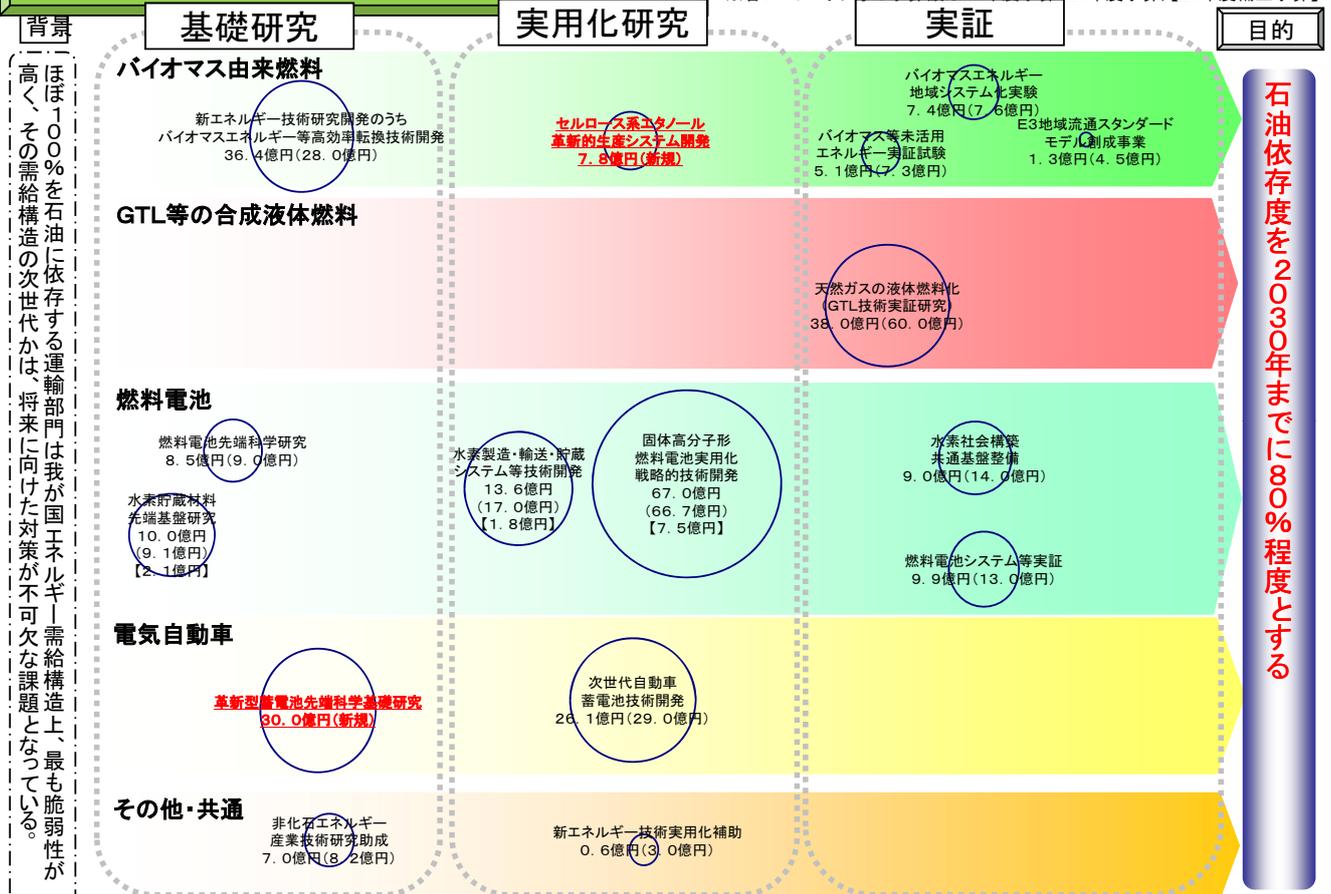


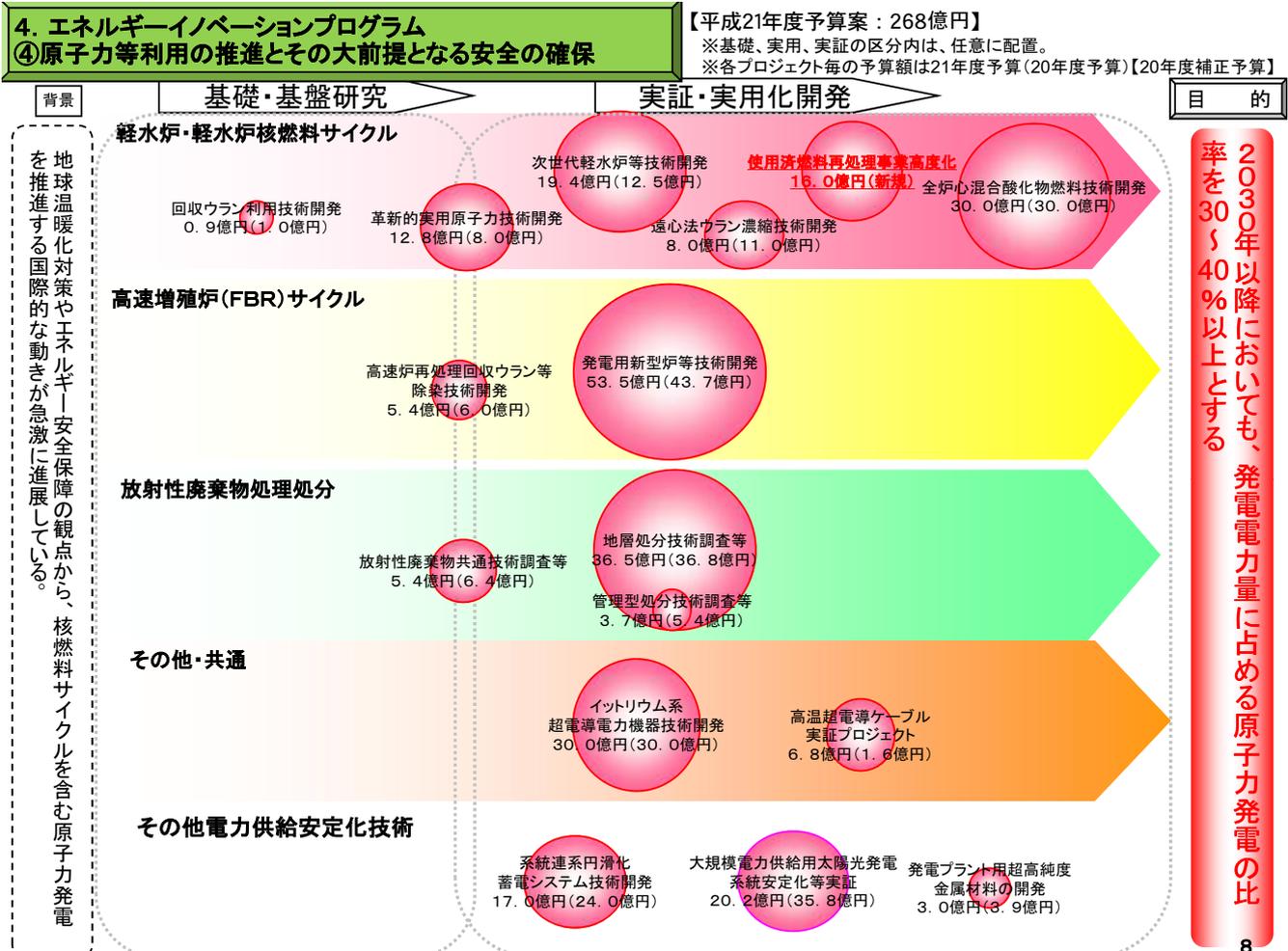
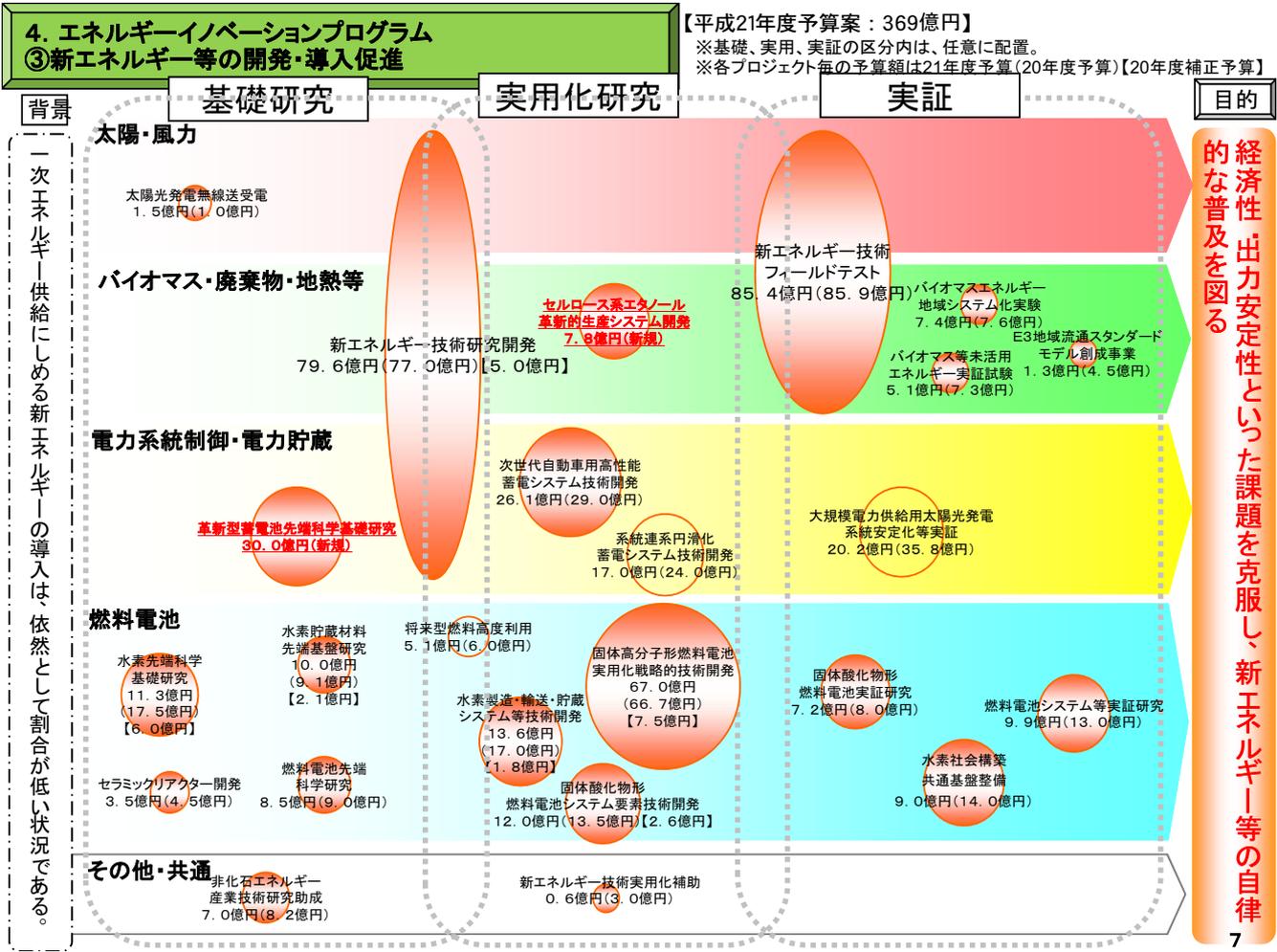
# 4. エネルギーイノベーションプログラム

## ②運輸部門の燃料多様化

【平成21年度予算案：278億円】

※基礎、実用、実証の区分内は、任意に配置。  
※各プロジェクト毎の予算額は21年度予算(20年度予算)【20年度補正予算】





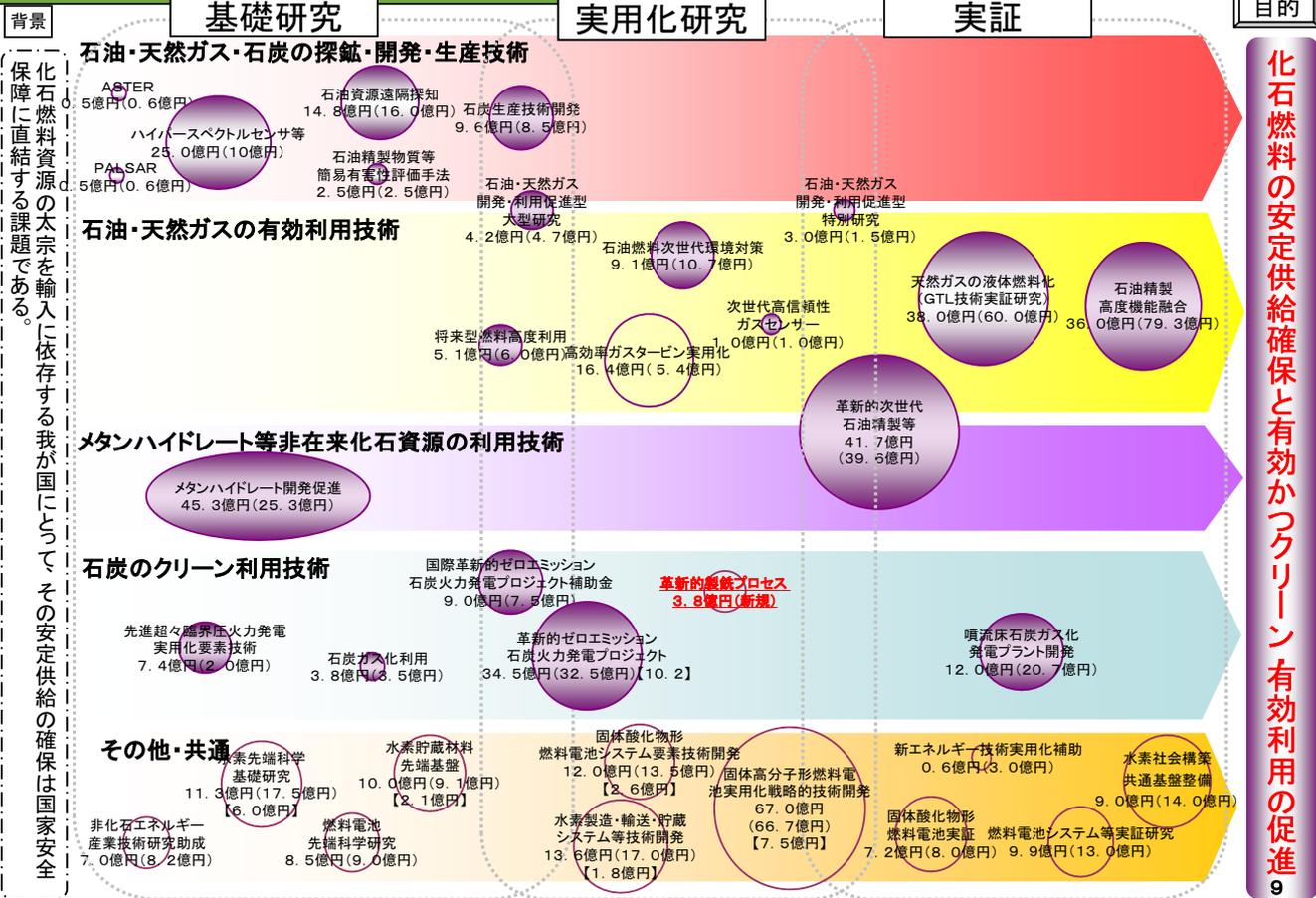
## 4. エネルギーイノベーションプログラム

### ⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

【平成21年度予算案：479億円】

※基礎、実用、実証の区分内は、任意に配置。

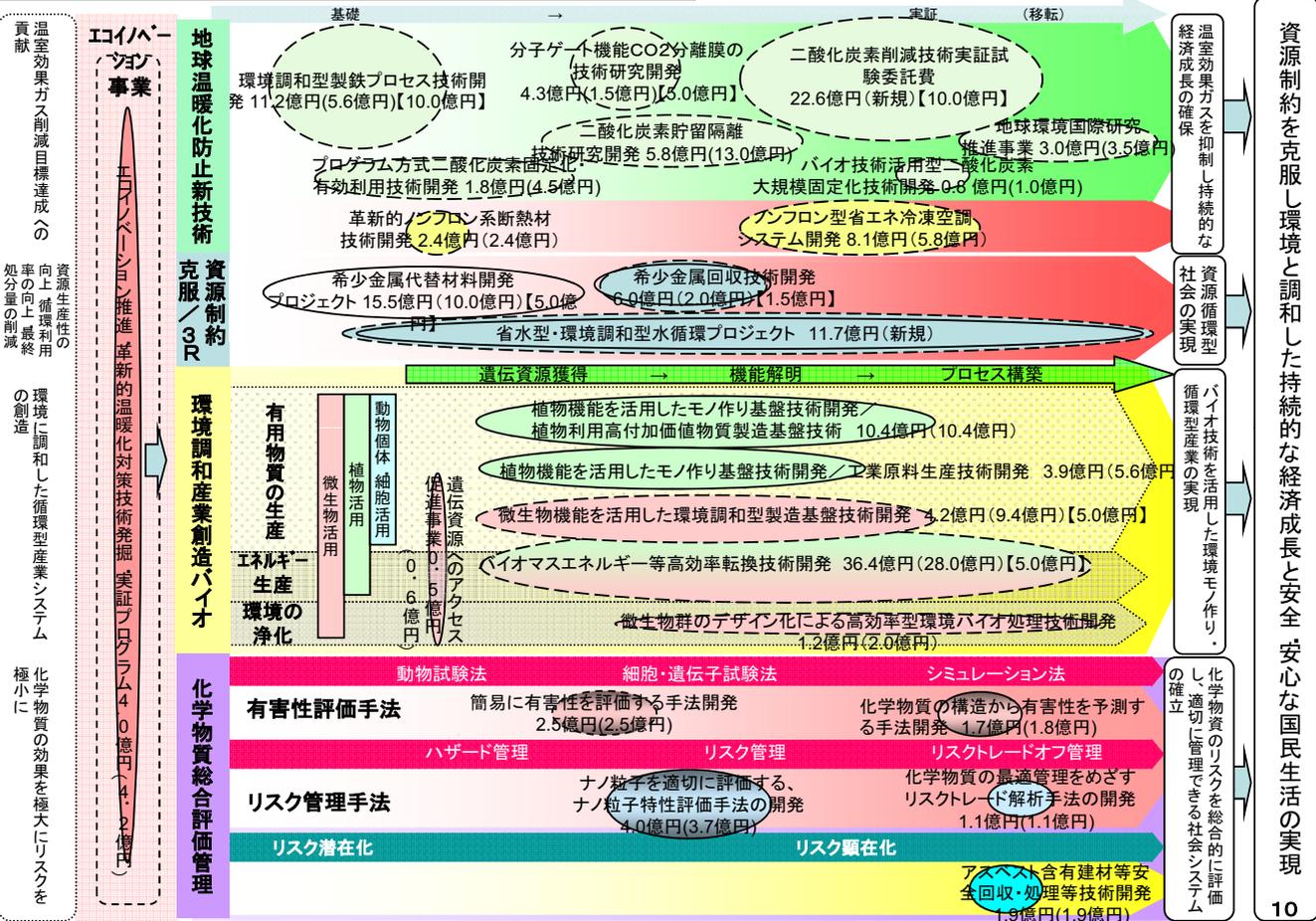
※各プロジェクト毎の予算額は21年度予算(20年度予算)【20年度補正予算】



## 5. 環境安心イノベーションプログラム

【平成21年度予算額：165億円】

※各プロジェクト毎の予算額は21年度予算(20年度予算)【20年度補正予算】



## 6. 健康安心イノベーションプログラム

【平成21年度予算額：130.0億円】

※各プロジェクト毎の予算額は、21年度予算(20年度予算)【20年度補正予算】

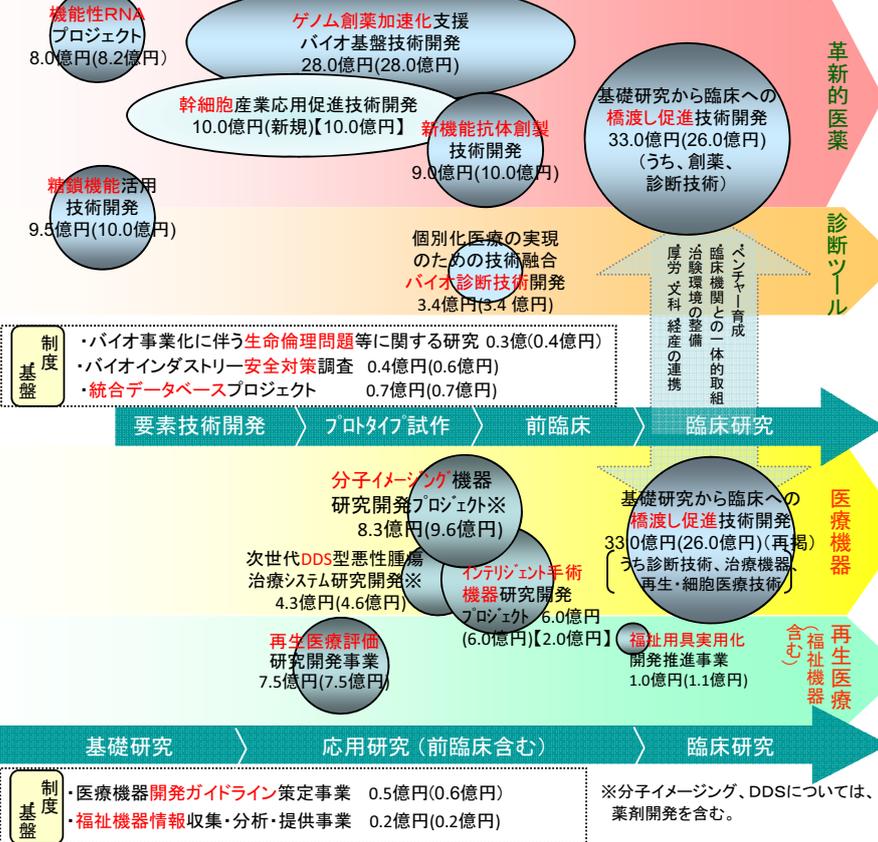
背景

創薬・診断・スズ探索 > ターゲットの絞込 > 化合物の探索・評価 > 前臨床 > 民間等による臨床開発

目的

創薬 診断技術開発の推進  
少子高齢化社会の到来

医療機器 再生医療等  
技術開発の推進



## 7. 航空機・宇宙産業イノベーションプログラム

【平成21年度予算案 320.1億円(うち財投出資 105億円)】

※各プロジェクト毎の予算額は21年度予算(20年度予算)

背景

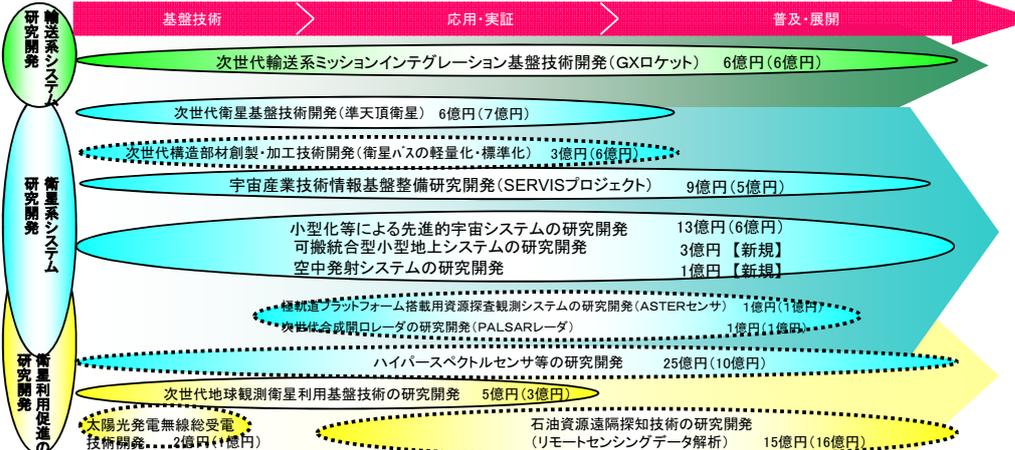
航空機関連技術力の蓄積  
安全性 環境適合性 経済性等の社会ニーズ



目的

我が国航空機産業の  
中長期的な発展  
基盤技術力の維持向上、

高度情報化社会の実現、地球環境の保全、  
資源開発等の多様な社会ニーズ



我が国宇宙産業の  
国際競争力の強化

P 0 8 0 0 4

(エネルギーイノベーションプログラム)  
「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」基本計画

新エネルギー部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

## (1) 研究開発の目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となることを目指し「エネルギーイノベーションプログラム」が制定された。本事業は、その「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施する。

燃料電池は、上記の目的達成に向けたキーテクノロジーとして、その実用化への期待が高い。第3期科学技術基本計画（2006年3月）においては「先端燃料電池システムと安全な革新的水素貯蔵・輸送技術」が戦略重点科学技術として選定されている。エネルギー基本計画（2007年3月）、次世代自動車・燃料イニシアティブ（2007年5月）においても燃料電池技術開発の重要性が述べられ、更には、Cool Earth—エネルギー技術革新計画（2008年3月）においても重点的に取り組むべきエネルギー革新技术として、定置用燃料電池・燃料電池自動車が位置付けられている。

燃料電池の中でも固体酸化物形燃料電池は、発電効率が高く、天然ガス・石炭ガス等の多様な燃料にも対応が可能で、小型分散型から大規模火力代替システムまで広い適応性を持つことから実用化に高い期待が寄せられている。

そこで、本事業では、固体酸化物形燃料電池システムを早期に市場導入するために必要な基礎研究と要素技術開発を実施して、その基盤技術を確立することを目的とする。なお、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という）が別途実施している「固体酸化物形燃料電池実証研究」において実負荷条件での運転により抽出される技術課題についても必要に応じ本事業に取り込み実施する。

## (2) 研究開発の目標

最終目標〔平成24年（2012年）度〕

## ① 基礎的・共通的課題のための研究開発

固体酸化物形燃料電池の耐久性・信頼性向上のため、熱力学的解析、化学的解析及び機械的解析により、劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立を行う。特に、性能に大きな影響を与える三相界面については、劣化現象と微細構造変化の相関付けを行う。またユーザーが容易に余寿命を評価できるような耐久性評価手法を確立する。

さらに、固体酸化物形燃料電池の早期の市場導入のために、セルスタック・モジュールの低コスト製造技術などの基盤技術を確立する。

## ② 実用性向上のための技術の確立

固体酸化物形燃料電池の実用性向上のために、運用性向上のための起動停止技術及び超高効率運転のための高圧運転技術を確立する。

なお、研究開発項目ごとの研究目標（最終目標、中間目標）の詳細は別紙の研究開発計画に示

す。

### (3) 研究開発内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

#### 〔委託事業〕

研究開発項目①「基礎的・共通的課題のための研究開発」

a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

(i) 熱力学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

(ii) 化学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

(iii) 機械的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

(iv) 三相界面についての性能劣化と微細構造変化の相関付け

(v) 耐久性評価手法の確立

b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

#### 〔共同研究事業〕

研究開発項目②「実用性向上のための技術開発」

運用性向上のための起動停止技術開発

超高効率運転のための高圧運転技術の開発

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、NEDOが、本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究開発機関（原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等（大学、研究機関を含む）の特別の研究開発能力、研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。）から公募によって研究開発実施者を選定し、実施する。

研究開発項目①「基礎的・共通的課題のための研究開発」

研究開発の高度化を図るため委託先決定後にプロジェクトリーダーを委嘱又は指名し、その下でそれぞれの研究テーマの達成目標を実現し、耐久性・信頼性向上の実現に寄与する研究開発を委託により実施する。

研究開発項目②「実用性向上のための技術開発」

NEDOが研究テーマの達成目標を実現すべく研究開発マネジメントを実施する。なお、本研究項目は、実用化を指向した研究開発であるため民間企業等との共同研究（NEDO負担率1/2）を行う。

### (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、四半期に一回程度、NEDOに設置する委員会等により外部有識者の意見を聴取し、プロジェクトの運営管理に反映させる等を行う。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成20年度から平成24年度までの5年間とする。

#### 4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成22年度、事後評価を平成25年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえて必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

#### 5. その他の重要事項

##### (1) 研究開発成果の取扱い

###### ① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

得られた研究成果については、NEDO、実施者とも普及に努めるものとする。

###### ② 知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備事業又は標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準情報（TR）制度への提案等を積極的に行う。

###### ③ 知的財産権の帰属

委託研究開発及び共同研究開発の成果に関わる知的財産権については「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規程等に基づき、原則として、すべて受託先に帰属させることとする。

##### (2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

##### (3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第1号二に基づき実施する。

##### (4) その他

「固体酸化物形燃料電池実証研究」との連携を密にして効果的な研究開発を行うよう努める。

#### 6. 基本計画の改訂履歴

##### (1) 平成20年3月、制定

(2) 平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。

(3) 平成21年3月、「原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発」の研究開発項目②から①への変更による改訂

(4) 平成23年3月、平成22年度に実施した中間評価を踏まえ、開発項目①「原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発」を前倒し終了すること及び開発項目②「運用性向上のための起動停止技術」を中止すること等による改訂

(5) 平成23年7月7日、「石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律改正」に伴う根拠法の変更による改定。

## (別紙) 研究開発計画

### 研究開発項目① 「基礎的・共通課題のための研究開発」

#### 1. 研究開発の必要性

「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」(平成16年度～19年度)では、10kW級～200kW級の燃料電池システムの技術開発を実施し、3000時間の耐久試験などにより、市場導入するために必要な技術課題を抽出した。また、「固体酸化物形燃料電池実証研究」(平成19年度より開始)では、小容量のシステムの実負荷条件での技術課題を抽出している。

これらの結果から、耐久性・信頼性等が市場導入レベルに達していないことが重要な課題として明らかになっている。また、海外では基礎分野の研究において研究機関と企業の連携が強化され、研究開発が推進されている。従って、劣化機構解明などの耐久性・信頼性向上のための基礎研究を産学官等の固体酸化物形燃料電池関連の研究開発者が協力して戦略的に取り組み、基盤技術を確立することが必要である。

また、我が国の現在の固体酸化物形燃料電池の低コスト製造技術については国際的にも優位なポジションにあるが、世界に先駆けて実用化していくためにはさらに低コスト製造技術を推進し、早期に市場導入のための基盤技術を確立することが必要である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

##### a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

セルスタック内の物質移動、不純物との化学反応及び構造変化による劣化について、それぞれ熱力学的解析、化学的解析、機械的解析を用いて、ミクロの観点から劣化機構を解析する。特に、性能に大きな影響を与える三相界面については、微細構造を解明し、さらに性能劣化と微細構造の変化の相関付けを行う。また、マクロの観点から劣化機構を解析し、ユーザーが容易に余寿命を評価できるような耐久性評価手法を開発する。なお、本研究は、セルスタックで実施する。

##### (i) 熱力学的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立

熱力学的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。更に劣化対策を立案し、その効果の検証を行う。また加速試験方法を確立する。

##### (ii) 化学的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立

化学的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。更に劣化対策を立案し、その効果の検証を行う。また加速試験方法を確立する。

##### (iii) 機械的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立

機械的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。更に劣化対策を立案し、その効果の検証を行う。また加速試験方法を確立する。

##### (iv) 三相界面についての性能劣化と微細構造変化の相関付け

三相界面の微細構造の測定技術を確立し、微細構造の経時変化を明らかにする。さらに、性能劣化と微細構造変化の相関付けを行う。

##### (v) 耐久性評価手法の確立

劣化要因分析技術とユーザーが容易に余寿命を評価できるような余寿命式を確立する。

##### b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

固体酸化物形燃料電池の電極及び電解質などのセルスタック原料・部材について、セルスタック開発機関各様の仕様を可能な限り共通化して低コスト化を図るとともに、低コスト材料の開発を行う。さらに、共通化した原料・部材を用いてセルスタック・モジュールの低コスト化技術開発を実施する。なお、本開発は主にセルスタック・モジュールで実施する。

なお、本テーマは平成22年度の時点で最終目標がほぼ達成されたため、平成22年度末をも

って前倒し終了する。

### 3. 達成目標

#### a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

「最終目標」(平成24年度)

熱力学的解析、化学的解析及び機械的解析を用いてセルスタックの連続運転による劣化をミクロの観点から解明し、対策立案と効果検証を実施し、さらに加速試験方法を確立する。三相界面については、性能劣化と微細構造変化の相関付けも行う。また、マクロの観点から劣化機構を解析し、ユーザーが容易に余寿命を評価できるような耐久性評価手法を確立する。

具体的には、以下の項目・内容を達成することにより、

- (i) 熱力学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立
- (ii) 化学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立
- (iii) 機械的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立
- (iv) 三相界面についての性能劣化と微細構造変化の相関付け
- (v) 耐久性評価手法の確立

◎耐久性4万時間(電圧低下率 0.25%/1000時間)の見通しを得る。

◎起動停止回数250回の見通しを得る。

「中間目標」(平成22年度)

- (i) 熱力学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

熱力学的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。さらに、劣化対策を立案し、その効果の検証を行うとともに加速劣化因子を抽出する。

- (ii) 化学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

化学的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。さらに、劣化対策を立案し、その効果の検証を行うとともに加速劣化因子を抽出する。

- (iii) 機械的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

機械的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。さらに、劣化対策を立案し、その効果の検証を行うとともに加速劣化因子を抽出する。

- (iv) 三相界面についての性能劣化と微細構造変化の相関付け

三相界面の微細構造の測定技術を確立し、微細構造の経時変化を明らかにする。

- (v) 耐久性評価手法の確立

セルスタックレベルにおいて、劣化要因分析技術を確立し、ユーザーが容易に余寿命を評価できるような余寿命式を提案する。

#### b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

「最終目標」(平成24年度)

◎開発した技術により普及時においてセルスタック5万円/kW程度の見通しを得る。

なお、普及時とは以下の年間生産数を想定する。

小容量(数kW未満):生産数5万kW/年レベル)

中容量(数十kW~数百kW):生産数15万kW/年レベル)

「中間目標」(平成22年度)

◎各セルスタック開発機関がセルスタックを作製できる原料・部材の共通仕様を確定する。

◎セル製造及びスタック化コスト等を分析して最終目標を達成するための原料・部材のコストを見積る。

◎低コスト化に向けた技術開発課題を抽出する。

◎低コストセルスタック開発方針を策定する。

## 研究開発項目②「実用性向上のための技術開発」

### 1. 研究開発の必要性

固体酸化物形燃料電池は、発電効率が高いこと及び多様な燃料に対応可能なことから、早期の実用化が望まれている。我が国の現在の固体酸化物形燃料電池に関する技術は国際的にも優位なポジションにあるが、世界に先駆けて実用化していくためには、運用性向上などの実用性向上のための技術開発を実施し、早期に市場導入のための基盤技術を確立することが必要である。

### 2. 研究開発の具体的内容

固体酸化物形燃料電池の実用性向上のために、運用性向上のための起動停止技術及び超高効率運転のための高圧運転技術を開発する。

#### a) 運用性向上のための起動停止技術

固体酸化物形燃料電池を主にコージェネレーションシステムとして実用化するときに求められる運用性向上のための起動停止技術に関するもので、起動停止時間の短縮、緊急時の安全停止、実用的なホットスタンバイのためのシステム開発を行う。主にセルスタック・モジュール（システム発電効率45%LHV程度を見込めるもの）を用いて開発を実施する。なお、開発成果は共同研究（委託）先のシステムを用いて確認する。

なお、最終目標の達成に向けて追加的な基礎研究等が必要なことが判明したため、平成22年度末をもって中止とする。

#### b) 超高効率運転のための高圧運転技術

超高効率運転のために固体酸化物形燃料電池をガスタービンと組み合わせるコンバインドサイクルシステムに係る高圧運転技術に関するシステム開発を行う。主にセルスタック・モジュール（システム発電効率50%LHV程度を見込めるもの）を用いて開発を実施する。なお、開発成果は本プロジェクトで開発するシステムを用いて確認する。

### 3. 達成目標

#### a) 運用性向上のための起動停止技術

「中間目標」（平成22年度）

◎起動停止による熱サイクルの影響を評価し、熱衝撃緩和セルスタック・モジュール構造を確立する。

#### b) 超高効率運転のための高圧運転技術

「最終目標」（平成24年度）

◎耐久性4万時間（電圧低下率0.25%/1000時間）の見通しを得る。

◎超高効率運転のための高圧運転技術を確立する。

「中間目標」（平成22年度）

◎マイクロガスタービンと組み合わせるための圧力範囲で、起動停止、緊急時の安全停止を可能とすることなどの高圧下での運転のためのシステム技術を確立する。

# 添付資料— 3

## S O F C ロードマップ詳細版

### SOFCロードマップ詳細版

○:一般、★:効率、□:耐久性、△:コスト、▽:利便性

SOFC-1

分類	要素	技術の現状	課題と目標				
			2015年	2020年	2030年	2050年	
システム	定置用	<p>&lt;小容量定置用システム(家庭用コージェネ)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・状況: 中温型(作動温度700°C~800°C)</li> <li>・材料レベルで大きく進展し、セルスタック検証進行中</li> <li>・実証システムレベルの性能及び耐久性の検証進行中</li> <li>・灯油・LPを燃料としたシステムが実証研究の段階</li> <li>・システム価格: 約800万円/kW</li> <li>・スタック出力密度: 0.1~0.2kW/L</li> <li>・耐久性: 2万時間以上の運転実績/運転時間4万時間(5年程度)の見通し</li> <li>・システム効率: <ul style="list-style-type: none"> <li>・システム発電効率: 40%HHV/45%LHV</li> <li>・システム総合効率: 75%HHV/82%LHV</li> </ul> </li> </ul>	<p>小容量定置用システムの課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▽ 起動停止特性、負荷追従性の向上</li> <li>★ 部分負荷運転制御性の向上</li> <li>△ 低コスト化</li> <li>△ コンパクト化</li> <li>○ システム詳細手法の確立</li> <li>△ マンテナンス方法の確立</li> </ul> <p>△ 更なる低コスト化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▽ スタック本体、周辺機器</li> <li>□ 長寿命化</li> </ul>	<p>小容量定置用システムの初期導入</p> <p>(数~数百kW)</p> <p>(都市ガスにおける目標)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△ システム価格: 80~100万円/kW</li> <li>△ システム価格: 20万円/kW (生産ケース数+MW/年レベル)</li> <li>△ システム出力密度: 0.2kW/L</li> <li>★ システム発電効率: &gt;40%HHV/45%LHV</li> <li>★ システム総合効率: &gt;75%HHV/82%LHV</li> <li>□ 耐久性: 運転時間4万時間以上(5年以上)の見通し</li> <li>○ 負荷追従性、低負荷運転特性が良好であること</li> </ul>	<p>小容量定置用システムの普及</p> <p>(1kW~数kW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★ 高発電効率かつ利便性の高い小型システム</li> <li>△ システム価格: &lt;40万円/kW (生産ケース: 150MW/年レベル)</li> <li>△ システム価格: 5万円/kW</li> <li>△ システム出力密度: 0.4~1kW/L</li> <li>★ システム発電効率: &gt;50%HHV/55%LHV</li> <li>★ システム総合効率: &gt;80%HHV/89%LHV</li> <li>□ 耐久性: 運転時間9万時間(10年程度)の見通し</li> </ul>		
		<p>&lt;中容量定置用システム(業務用コージェネ)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・状況: 高温型(作動温度900~1000°C)及び中温型(同700~800°C)を利用</li> <li>・システム価格: 数百万円~1,000万円/kW</li> <li>・スタック出力密度: &lt;0.1kW/L</li> <li>・耐久性: <ul style="list-style-type: none"> <li>海外では、EVD法円筒縦断形セルでは7万時間運転の実績</li> <li>・低コスト製造法によるセルでも長期安定性が期待されており、実証が必要</li> <li>・3,000時間以上の運転実績</li> </ul> </li> <li>・システム効率: <ul style="list-style-type: none"> <li>・システム発電効率: 40%HHV/45%LHV</li> <li>・システム総合効率: 80%HHV/89%LHV</li> </ul> </li> <li>・設置面積当たり容量: 5kW/m<sup>2</sup>レベル</li> </ul>	<p>中容量定置用システムの課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▽ 起動停止特性、負荷追従性の向上</li> <li>★ 部分負荷運転制御性の向上</li> <li>□ 電気・熱出力効率化と運用効率向上</li> <li>△ 低コスト化</li> <li>△ コンパクト化</li> <li>○ システム詳細手法の確立</li> <li>△ マンテナンス方法の確立</li> </ul> <p>△ 更なる低コスト化、コンパクト化、長寿命化</p> <p>▽ 石油系燃料、バイオガス等の燃料多様化への見通し</p> <p>★ □ △ システム検証と材料開発への反映</p>	<p>中容量定置用システムの初期導入</p> <p>(数~数百kW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△ システム価格: 約100万円/kW</li> <li>△ システム価格: 30万円/kW (生産ケース: 数MW/年レベル)</li> <li>△ システム出力密度: 0.2~0.5kW/L</li> <li>○ 設置面積当たり容量: &gt;5~13kW/m<sup>2</sup></li> <li>★ システム発電効率: &gt;40%HHV/45%LHV</li> <li>★ システム総合効率: 80%HHV/89%LHV</li> <li>□ 耐久性: 運転時間4万時間(5年程度)の見通し</li> </ul> <p>○ 負荷追従運転可、低負荷運転特性が良好</p>	<p>中容量定置用システムの普及</p> <p>(数~数百kW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△ システム価格: &lt;20万円/kW (生産ケース: 150MW/年レベル)</li> <li>△ システム価格: 5万円/kW</li> <li>△ システム出力密度: 0.5~2kW/L</li> <li>○ 設置面積当たり容量: &gt;13kW/m<sup>2</sup> (PAFCと同レベル)</li> <li>★ システム発電効率: &gt;50%HHV/55%LHV</li> <li>★ システム総合効率: &gt;80%HHV/89%LHV</li> <li>□ 耐久性: 運転時間9万時間(10年程度)の見通し</li> </ul> <p>★ 石油系燃料、石炭ガス化ガス等、多様な燃料の利用への見通し</p>		
		<p>&lt;中容量ハイブリッドシステム&gt;</p> <p>高温型スタック高効率システム(SOFC+MG/ハイブリッド、数百kW数MW規模)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・状況: システムの検証と技術の蓄積に着手している段階</li> <li>・今後商用システムへの構築が必要</li> <li>・システム発電効率: 40%HHV/55%LHV (200kW級システム)</li> <li>・システム総合効率: 80%HHV/89%LHV</li> <li>・耐久性: 3000時間運転実績(200kW級システム)</li> </ul>	<p>中容量ハイブリッドシステムの課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★ △ △ 低コスト、コンパクト化のための出力密度向上</li> <li>★ ガスタービンとのハイブリッド技術のシステム化・制御技術・実証</li> <li>□ △ 燃料多様化</li> <li>□ △ 不純物耐久性の把握、対策</li> <li>□ △ 高圧力下での劣化挙動解析</li> <li>★ 高温排熱の高度利用</li> </ul> <p>□ 単セル容量の向上によるシステムの簡素化と信頼性向上</p>	<p>中容量ハイブリッドシステムの初期導入</p> <p>(数百kW~数MW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△ システム価格: 数10~約100万円/kW</li> <li>△ システム出力密度: 0.1~0.5kW/L</li> <li>○ 設置面積当たり容量: 5~13kW/m<sup>2</sup></li> <li>★ システム発電効率: &gt;50%HHV/55%LHV</li> <li>□ 耐久性: 運転時間4万時間(5年程度)の見通し</li> </ul>	<p>中容量ハイブリッドシステムの普及</p> <p>(数百kW~数MW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△ システム価格: &lt;15万円/kW (生産ケース: 200MW/年レベル)</li> <li>△ システム価格: 5万円/kW</li> <li>△ システム出力密度: 0.5~2kW/L</li> <li>○ 設置面積当たり容量: &gt;13kW/m<sup>2</sup> (PAFCと同レベル)</li> <li>★ システム発電効率: &gt;55%HHV/60%LHV</li> <li>★ システム総合効率: &gt;80%HHV/89%LHV</li> <li>□ 耐久性: 運転時間9万時間(10年程度)の見通し</li> </ul> <p>★ 石油系燃料、石炭ガス化ガス等、多様な燃料の利用への見通し</p>		
		<p>&lt;大容量コンバインド※(発電用)&gt;</p> <p>高温型スタック高効率システム(SOFC+GT+ST/トリプルコンバインド、数MW~数100MW規模)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・LNG(天然ガス)用</li> <li>・石炭ガス化ガス用(LNGに比べ効率はやや低い)</li> <li>・米国内では石炭を用いた大型システムにも重点</li> <li>・(FutureGen Coal RoadMap)</li> <li>・システムの大型化には未着手</li> </ul> <p>※: 中容量のハイブリッドと大容量の「コンバインド」は基本的に同じシステムを指しているが、本ロードマップでは、これまでの呼称を考慮し、中容量と大容量で表現を使い分けるものとした(コージェネでは「ハイブリッド」、電力事業者側は「コンバインド」の表現が一般的)</p>	<p>大容量コンバインドシステムの課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★ △ △ 低コスト、コンパクト化のための出力密度向上</li> <li>★ △ △ 高圧力稼働用スタック検証、高圧力運転技術、発電システムとの制御技術(SOFCとGTの動的依存性の把握、起動停止、負荷変動制御、負荷追従方法)</li> <li>□ △ 燃料内不純物対応技術の開発</li> <li>★ 高温排熱の高度利用</li> <li>□ △ 高圧力下での特性・耐久性確認(セル・スタック)</li> <li>★ △ △ SOFCモジュール集積技術の確立</li> <li>△ △ マンテナンス性向上のためのシステムの最適化・検証</li> <li>▽ □ △ LNG、石炭ガス化ガス、重油などの適用性の検証 (燃料内不純物対応技術開発)</li> <li>▽ △ 大容量システムにおける、最適容量の検討と反映</li> <li>□ 単セル容量の向上によるシステムの簡素化と信頼性向上</li> </ul>	<p>大容量コンバインドシステムの初期導入</p> <p>(既設LNG/C発電設備へのSOFC部分トッピングによるリパワリングとしての初期導入からスタート: 数MW以上)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△ システム価格: 数10~約100万円/kW</li> <li>△ システム出力密度: 5万円/kW</li> <li>△ システム出力密度: 0.5~2kW/L</li> <li>★ システム発電効率: &gt;80%HHV/65%LHV</li> <li>□ 耐久性: 運転時間4万時間(10年程度)の見通し</li> </ul> <p>★ 石油系燃料、石炭ガス化ガス等、多様な燃料の利用への見通し</p> <p>○ ★ △ △ 石炭ガス化燃料電池コンバインド発電システム(IGFC)への適用</p>	<p>大容量コンバインドシステムの普及</p> <p>(数10MW~数100MW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△ システム価格: &lt;15万円/kW (生産ケース: 200MW/年レベル)</li> <li>△ システム価格: 5万円/kW</li> <li>△ システム出力密度: 0.5~2kW/L</li> <li>○ 設置面積当たり容量: &gt;13kW/m<sup>2</sup> (PAFCと同レベル)</li> <li>★ システム発電効率: &gt;55%HHV/60%LHV</li> <li>★ システム総合効率: &gt;80%HHV/89%LHV</li> <li>□ 耐久性: 運転時間9万時間(10年程度)の見通し</li> </ul> <p>★ 石油系燃料、石炭ガス化ガス等、多様な燃料の利用への見通し</p> <p>○ ★ △ △ VIGFC部分トッピング   ○ ★ △ △ VIGFC初期導入</p>		
		<p>SOFC開発の特徴: スタック構造・材料、プロセスと密接に関連しているため、スタック開発者が材料開発からスタック開発まで行い、垂直統合された体制で行われることが多い。スタック開発が開発全体を律していることが多い。□ 耐久性: 運転時間4万時間(5年程度)の見通し</p>					

分類	要素	技術の現状	課題と目標		
			2015年	2020年	2030年
移動体・携帯用	○携帯用小型システム 低温動作化材料、小型スタック構造の研究システム検証に着手する段階 スタック発電性能:40W@700℃ 耐久性:5,000時間	携帯用小型システムの課題 ▽利便性の向上 ▽液体燃料導入法の検討 ☆断熱性の向上 ▽稼働ガス放出法の確立 ☆DME液体燃料の使用 ▽スタックの小型軽量化 ▽起動停止対応セル材料、高断熱素材の開発 ▽起動時間短縮方法の検討 ▽耐衝撃構造の検討	【携帯用】 ☆燃料直接利用システム 小型(0.1~5W) △スタック価格:50万円/4W △システム発電効率>200kWh/22kWhV □耐久性:1~5年;実働時間1,000~5,000時間 起動停止回数:1,000~2,000回		
		各種補助電源の課題 ▽指定された液体燃料への適用性(ガソリン、軽油など)検討 △低コスト化策の検討 ▽起動停止に優れた耐久性を示すスタック構造の検討、改良 ▽小型軽量化 ▽耐振動性の検討 ▽金属支持形低温スタックの検討 ☆システムの高効率化	内燃機関自動車・トラック用補助電源の初期導入 内燃機関自動車・トラック用補助電源の普及 【車載自動車用発電機(オルタネータ)代替】 (数百W~数kW) □耐久性:10年;実働時間:5,000時間 【商用エンジン発電機代替(軽貨運用トラック/冷凍トラック/冷蔵コンテナなど)】 (数kW~数十kW) □耐久性:10年;実働時間:数万時間 ☆液体燃料の使用 ○▽電気自動車の航続距離延長用電源としての実証 電気自動車用電源の初期導入 電気自動車用電源の普及 【電気自動車用発電機(航続距離延長用)】 (コムーター用5W、中・長距離用10W~20W) □耐久性:10年;実働時間:5,000時間		
システム関連技術	<システム評価・共通技術> 状況:統一的なセル・スタック・システム評価技術の検討中 スタックの劣化現象の解明として耐久性・信頼性向上に関する研究開発が進行中 ・規格・標準化技術 ・効率の測定法の研究開発が進んでいる	○スタック・システム評価技術の確立・標準化 ○スタック・システム評価技術の検討 コージェネシステム用、コンバインドシステム用など			

分類	要素	技術の現状	課題と目標			
			2015年	2020年	2030年	
燃料電池本体	<実用段階技術> ・製造:湿式焼結法はほぼ確立 押し出し成形&スクリーン印刷・湿式法による低コスト技術開発 ・セル形式:円筒形(EVD法・湿式法)、MOLB形、平板形、円筒平板形 ・出力密度:平板形で約0.2kW/Lレベル 体積出力密度:海外では0.5kW/Lを実現 面積出力密度:0.1~0.35W/cm <sup>2</sup> 程度 ・耐久性:海外ではEVD法YSZ円筒形セルで7万時間、システムで3万時間以上の耐久性実証 国内では低コスト製造方法・構造セルで2万時間以上電圧低下率0.5~1%/1000h ・材料:電解質材料、電極材料、インタコネクタ材料との適合性 安定性の検討が必要な状況 ・状況:劣化現象の把握が進められている	初期導入システム用スタック開発 (低コスト・高耐久性) ☆△▽高なる低コスト・高出力密度化 □4万時間の耐久性見出しの確保 ○熱応力解析手法の確立 ○セル・スタックレベルでの温度や電流分布を求めめる発電特性や熱応力を求める解析手法の確立 ○統一的评价方法の確立 ○システム実証による運転特性把握 □各種運転モード・内部短絡などに起因する劣化現象の把握 実用段階セル・スタックの耐久性・信頼性向上	小中容量(家庭・業務用等)普及システム用スタック (要求性能は小容量・中容量定置用システムの項参照)			
		□□□耐久性の向上 △□スタック材料、構造の改良による更なるコスト削減、信頼性向上 □△▽セル・スタックレベルでの温度や電流分布を求めめる発電特性や、熱応力を求める解析手法の確立 △☆▽高出力密度化および大面積化に向けたセル・スタック構造、使用材料、製造方法の検討・改良 □劣化機構解明、耐久性加速試験方法、非破壊試験方法の確立に向けた劣化現象把握メカニズムの解析高圧力稼働による効率向上と高圧力下特性評価・劣化挙動解明	初期導入システム用スタック開発 (低コスト・高耐久性) △☆▽高出力密度化、信頼性と低コスト化の同時達成 △コンパクト化 ○システムの開発・実証 □劣化機構解明、耐久性加速試験法確立 □△▽セル・スタックレベルでの温度や電流分布を求めめる発電特性や、熱応力を求める解析手法の確立 高圧力下特性評価法の確立	小中容量(家庭・業務用等)普及システム用スタック (要求性能は小容量・中容量定置用システムの項参照) 中容量等システム 初期導入用スタック (低コスト・高耐久性・コンパクト) 中大容量システム用スタック		
		☆△新規材料開発及びセル・スタック稼働温度低減への適用検討 (新規電解質開発、電極の低温での活性化) ☆△新規製造プロセスの開発 (不活性ガス中での焼結法:低コスト製法) ☆△新規スタックデザインの開発 (金属支持セル、コンバインド、セル間接続技術) ☆△薄層化セルの耐久性の検討	▽起動時間の短縮 耐熱サイクル特性の改良 軽量化 ▽燃料導入法の簡便化 ☆システム構成の簡便化 ☆△新規プロセスの検証、新規スタック構造の検証 ▽燃料導入法の革新と新規開発燃料材料の検証			
<長期的技術> ○低温型500℃ ・低温化:550~700℃温度領域で稼働するSOFCの開発・検証が進められている ・金属支持スタックの開発が始まった。 ○中高温型 ・新規スタック構造の開発				移動体、携帯用、(小型定置用システム)に用いるスタック		

分類	要素	技術の現状	課題と目標		
			2015年	2020年	2030年
電解質	電解質	<実用段階技術> ・材料:イリリア安定化ジルコニア系電解質(YSZ)はかなり成熟 フラングレート系、Se安定化ジルコニア系(SeSZ)は、中選 用を中心に実績 ・出力密度:YSZの薄層化技術と高活性空気極の使用による高出 力化・低温化の実績 ・製膜技術:国内ではほとんどが湿式焼結法を採用 海外では電着法なども検討されている	初期導入システム用 (低コスト)	普及システム用 (低コスト・高耐久性)	
		△原料の低コスト化及 び不純物制御 △中温型用電解質に用いられるガリウム及びス カンジウムの 資源量・コストに関する評価 □中温型用電解質の強度・他部材との反 応・薄層化に起因する劣化要因の検討			
燃料電池 本体	電極材料 (空気極)	<実用段階技術> ・材料:LaSm酸化物(高温型)やLaSrCoFe酸化物とセリア中間層 やSmSrCo酸化物(中温型)などが利用されている ・耐久性:電極が酸化還元を受けた際の構造破壊の対策の必要性 周辺部材との固相反応による劣化、不純物による劣化の 検討 ・性能:既存電極改良による性能達成点見極め 材料変更による性能、コスト、安定性等への効果の体系的 整理が必要	初期導入システム用 (低コスト・高耐久性・高信頼性)	普及システム用 (低コスト・高耐久性)	
		△低コスト化が見込める電極材料のセルへの 適用 ☆▽高出力密度化 △▽作動温度低温化 □電極の酸化還元による破壊の対策検討			
燃料電池 本体	電極材料 (燃料極)	<実用段階技術> ・材料:低コスト材料、高出力密度化を実現できる材料の開発が 進められている ・コスト:電極材料としての組製難希土類の使用については、 品質管理の問題で大きな進展なし LaNi酸化物系材料など ・耐久性:大気中の不純物の影響の解明が必要	初期導入システム用 (低コスト・高耐久性・高信頼性)	普及システム用 (低コスト・高耐久性・燃料多様化)	
		△低コスト化が見込める電極材料のセルへの 適用 ☆▽高出力密度化 △▽作動温度低温化 □燃料系析出を抑制できる燃料極材料の開発 □▽耐被毒燃料極の開発 □△▽耐レドックス特性の向上 □電極の酸化還元による破壊の対策検討	△低コスト化と低温作動化などの両立性の検証 △低コストと耐久性との両立性の検証		
燃料電池 本体	電極材料 (燃料極)	<実用段階技術> ・材料:Ni/YSZ酸化物については実績 Ni-セリア系、Ni-SeSZ系サーメットも使用されている Ni-セリア系酸化物の酸化による性能向上、コスト、安 定性等への効果の体系的整理が必要 ・耐久性:ニッケルの腐蝕による劣化の対策検討 電極が酸化還元を受けた際の構造破壊の対策の必要性 周辺部材との固相反応による劣化、不純物による劣化の 検討 ・性能:既存電極改良による性能達成点見極め 材料変更による性能、コスト、安定性等への効果の体系的 整理が必要	初期導入システム用 (低コスト・高耐久性・高信頼性)	普及システム用 (低コスト・高耐久性・燃料多様化)	
		△低コスト化が見込める電極材料のセルへの 適用 ☆▽高出力密度化 △▽作動温度低温化 □燃料系析出を抑制できる燃料極材料の開発 □▽耐被毒燃料極の開発 □△▽耐レドックス特性の向上 □電極の酸化還元による破壊の対策検討	△低コスト化と低温作動化などの両立性の検証 △低コストと耐久性との両立性の検証		

分類	要素	技術の現状	課題と目標		
			2015年	2020年	2030年
燃料電池 本体	インターコ ネット	<実用段階技術> ○高温型 ・材料:フラングクロマイト等酸化物の製造技術成熟度は高い S-Ti系の高導電率化も取り組まれている 湿式焼結法で製造したインターコネットの耐久性・信頼性向 上が進んでいる ・金属と伝導性酸化物の組み合わせによる接続構造の最適化 製造技術:他の構成材料との共焼結法の確立、ガス炉焼結法 の確立へ向けた研究開発中 ○中低温型(金属インターコネット材) ・材料:フェライト系ステンレス等金属インターコネット材など ・耐久性:インターコネット材合金と空気、燃料・水蒸気との反応 によるスケール生成現象の解明とその対応策が検討中 酸化による導電率低下、浸炭による劣化、インターコネク ト由来のCrによる被毒等の劣化対策が進行中、シール材 への反応性の検討が必要 ・金属と伝導性酸化物の組み合わせによる接続構造の最適化 ・コーティング技術:伝導性酸化物の選定、製造法の選定	初期導入システム用 (高信頼性・高耐久性)	普及システム用 (低コスト・高耐久性・高信頼性)	
		□△金属系インターコネット材劣化機構解明及び耐 久性向上対策 □集電材料の高耐久性・高信頼性化の開発			
燃料電池 本体	インターコ ネット	<次世代技術> フェライト系ステンレスを中心に種々の金属インターコネット材が試 験対象	□△新たな金属系インターコネット材 の開発		
		△新規酸化物インターコネット材の開発 △新規酸化物インターコネット材の検証 △低温金属支持セル の設計、材料選択、製 造法の検討			
燃料電池 本体	燃料電池 本体	<実用段階技術> ・状況:都市ガス、LPG、灯油を使用 急速な起動停止への対応が課題 天然ガス付実用除去、灯油脱硫技術は既に進展 都市ガスLPG灯油などの改質器を備えた燃料供給SOFC の実証 ・次世代技術> ・検討対象:ガソリン、軽油、DME、エタノール、 石炭系ガス(石炭ガス化ガス、GOGなど)、バイオガス 燃料極の耐被毒特性でシステム構成が異なる ・耐久性:硫黄酸化物試験セルレベル(高湿且つ可逆的に回変) スタック作動温度を考慮した総合的対策は今後の課題 硫黄系に対する被毒特性の把握 燃料直接利用技術の検討 低温改質技術の開発	初期導入システム用 高信頼性燃料改質発電システム	普及システム用 (高耐久性・燃料多様化)	
		□燃料内不純物耐 応技術開発(硫黄 系、ハロゲン系等) □セル・スタック ベル検証 □都市ガスや石油系燃料、バイオガス、石炭ガス化ガスの直接利用 を目指して、燃料中の不純物に対する耐久性の確保			
燃料電池 本体	燃料電池 本体	<次世代技術> ・燃料系ガス(石炭ガス化ガス、GOGなど)、バイオガス 燃料極の耐被毒特性でシステム構成が異なる ・耐久性:硫黄酸化物試験セルレベル(高湿且つ可逆的に回変) スタック作動温度を考慮した総合的対策は今後の課題 硫黄系に対する被毒特性の把握 燃料直接利用技術の検討 低温改質技術の開発	□作動温度を考慮した総合的硫黄被毒対策 □都市ガスGTL、DMEの直接利用技術の開発 □耐硫黄性燃料極の開発 □排ガス処理によるCO濃度の低減 ☆□△▽石炭ガス化ガスへの適応性の検討	普及システム用 (高耐久性・燃料多様化)	
		△燃料系ガス(石炭ガス化ガス、GOGなど)、バイオガス 燃料極の耐被毒特性でシステム構成が異なる ・耐久性:硫黄酸化物試験セルレベル(高湿且つ可逆的に回変) スタック作動温度を考慮した総合的対策は今後の課題 硫黄系に対する被毒特性の把握 燃料直接利用技術の検討 低温改質技術の開発	△燃料系ガス(石炭ガス化ガス、GOGなど)、バイオガス 燃料極の耐被毒特性でシステム構成が異なる ・耐久性:硫黄酸化物試験セルレベル(高湿且つ可逆的に回変) スタック作動温度を考慮した総合的対策は今後の課題 硫黄系に対する被毒特性の把握 燃料直接利用技術の検討 低温改質技術の開発		
燃料電池 本体	燃料電池 本体	<長期的技術> ・燃料直接導入・基礎研究レベルの検討実施中 ・炭酸ガス回収システム	△炭酸ガス分離回収法の検討・最適化 □炭酸ガス分離回収法の検証		
		△炭酸ガス分離回収法の検討・最適化 □炭酸ガス分離回収法の検証			
燃料電池 本体	燃料電池 本体	<実用段階技術> ○周辺機器(高性能断熱材、その他周辺技術) ・その他周辺技術:ブロー、コンプレッサー、ポンプ、 パワーエレクトロニクス等 ・地盤、短絡対策、トラブル時のシステム保護の必要性 コスト・システムにおける周辺機器のコスト削減 ・状況:周辺機器、周辺部材の最適化は今後の課題	初期導入システム用 (高信頼性・高耐久性・低コスト・メンテナンス性)		
		△燃料系ガス(石炭ガス化ガス、GOGなど)、バイオガス 燃料極の耐被毒特性でシステム構成が異なる ・耐久性:硫黄酸化物試験セルレベル(高湿且つ可逆的に回変) スタック作動温度を考慮した総合的対策は今後の課題 硫黄系に対する被毒特性の把握 燃料直接利用技術の検討 低温改質技術の開発			

＜共通の・基盤的課題＞

○：一般、☆効率、□：耐久性、△：コスト、▽：利便性

SOFC-6

分類	要素	技術の現状	課題と目標			
			2015年	2020年	2030年	
基盤的 テーマ	劣化解明	<p>＜基盤的技術＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・小容量システムについては、耐久性・信頼性等が市場導入レベルに近づきつつあるが、中・大容量システムについては、依然、重要な課題となっている。特に、海外では基礎分野の研究において研究機関と企業の連携が強化され、研究開発が推進されている。従って、劣化機構解明などの耐久性・信頼性向上のための基礎研究を産学官等の固体酸化物燃料電池関連の研究開発者が協力して戦略的に取り組み、基盤技術を確立することが継続的に必要。</li> </ul>	<p>・熱力学的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立 熱力学的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。更に劣化対策を立案し、その効果の検証を行う。また加速試験方法を確立する。</p> <p>・化学的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立 化学的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。更に劣化対策を立案し、その効果の検証を行う。また加速試験方法を確立する。</p> <p>・機械的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立 機械的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。更に劣化対策を立案し、その効果の検証を行う。また加速試験方法を確立する。</p> <p>・三相界面についての劣化現象と微細構造変化の相関付け 三相界面の微細構造の測定技術を確立し、微細構造の経時変化を明らかにする。さらに、劣化因子と微細構造変化の相関付けを行う。</p> <p>・耐久性評価手法の確立 劣化要因分析技術とユーザーが容易に劣化寿命を評価できるような劣化寿命式を確立する。</p>			<p>実用化研究に反映、 新たな課題への対応</p>
	シミュレーション・評価	<p>＜基盤的技術＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・システム特性：使用環境・運転条件・システム・スタック・構成材料が相互に影響を及ぼし合うことが理解されつつある。</li> <li>・システム検討：オンサイト発電、コージェネ、高効率ハイブリッドシステム、自動車用小型電源、航空機補助電源等の種々のSOFC適用分野に関してシミュレーション進行中</li> </ul>	<p>・多種多様な使用環境・運転条件における実用システムのシミュレーションと評価 ・実証試験情報の共有と技術開発への反映、部材開発への反映 ・基礎研究成果に対するシステム、スタックの観点を含めた評価 （実用システムに適用されるレベルのもの）</p>			<p>実用化研究に反映、 新たな課題への対応</p>
	モジュール スタック/セル	<p>＜基盤的技術＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・特性把握：スタックレベルの系統的な研究は少数</li> <li>・理論的検討：構成材料界面、細孔での反応・物質移動検討活発化</li> <li>・物質・熱・電気の流れに関するモデリングがセル・スタック・モジュール各レベルで重要</li> <li>・解析技術：In situ解析技術（電気化学的方法、X線応力解析）とモデル電極による解析技術の適用が進行中</li> </ul>	<p>・セル・スタックレベルでの標準的試験方法の確立 ・単セルレベルとスタックレベルでの特性の差異に関する検討 ・セル・スタックにおける反応・物質移動と熱エネルギー移送の実験的・理論的把握 ・セル・スタックでの反応・物質移動の解析・評価技術の開発</p>			<p>実用化研究に反映、 新たな課題への対応</p>
	標準	<p>＜基盤的技術＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現行の改質型PEFCでのJIS試験法をベースに、国際標準との整合性も見据えてSOFCの性能試験法標準化に資する検討を行い、実証試験検証を通して今後の国内外標準の改善に資する知見や実証データを蓄積。</li> </ul>	<p>＜試験項目＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・点火、燃焼試験</li> <li>・燃料ガス安定試験</li> <li>・負荷変動、負荷追従特性試験</li> <li>・耐風、耐雨試験 等</li> </ul>			<p>実用化研究に反映、 新たな課題への対応</p>
	規制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電気事業法関連の規制見直し</li> <li>・常時監視の不要化</li> <li>・不活性ガスハージ省略</li> <li>・一般用電気工作物化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・消防法関連の規制見直し</li> <li>・設置届出義務の撤廃</li> <li>・設置場所指定の短縮</li> <li>・逆火防止装置の省略</li> </ul>			<p>実用化研究に反映、 新たな課題への対応</p>

## 事前評価書

		作成日	平成20年2月25日
1. 事業名称 (コード番号)	固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発 (P08004)		
2. 推進部署名	燃料電池・水素技術開発部		
3. 事業概要	<p>(1) 概要： 本事業では、①耐久性・信頼性向上のための基礎研究と、②実用性向上のための技術開発を実施して、固体酸化物形燃料電池システムを早期に市場導入するために必要な基盤技術を確立する。</p> <p>①耐久性・信頼性向上のための基盤研究 (100%委託) ②実用性向上のための技術開発 (100%委託並びに50%共同研究)</p> <p>(2) 事業規模：事業費総額 70億円 (NEDO負担分：予定) 平成20年度 14億円 (NEDO負担分)</p> <p>(3) 事業期間：平成20年度～24年度 (5年間)</p>		
4. 評価の検討状況	<p>(1) 事業の位置付け・必要性 我が国におけるエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題(CO<sub>2</sub>)・交通量の多い都市部等における地域環境問題(NO<sub>x</sub>、PM等)の解決のためには、国全体として省エネルギーを推進するとともに、新エネルギー技術の開発、コスト削減及び利便性や性能の向上に積極的に取り組むことが極めて重要である。本事業は、このような背景のもと、新エネルギー技術の開発等によってエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題(CO<sub>2</sub>)等地球環境問題の解決、新規産業・雇用の創出、水素エネルギー社会の実現等を図ることを目的とする「新エネルギー技術開発プログラム」の一環として実施する。</p> <p>固体酸化物形燃料電池(SOFC)は、化石燃料を使用する発電システムで最も高い発電効率が期待でき、天然ガス、石炭ガス化ガスの他にバイオガス等の多様な燃料に対応が可能であるうえに、小型分散型から大規模火力代替システムまで広い適応性を持ち、更に高価な白金触媒を必要としない等の優れた特徴を有している。これらの優れた特徴から、エネルギー供給の安定化及び効率化と地球温暖化問題及び地域環境問題を解決することができる可能性を持つ高効率発電システムとして実用化に高い期待が寄せられている。</p> <p>「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」(平成16年度～19年度)では、10kW級～200kW級の燃料電池システムの技術開発を実施し、3000時間の耐久試験などにより、市場導入するために必要な技術課題を抽出した。また、「固体酸化物形燃料電池実証研究」(平成19年度より開始)では、小容量のシステムの実負荷条件での技術課題を抽出している。</p> <p>これらの結果から、耐久性・信頼性等が市場導入レベルに達していないことが重要な課題として明らかになっている。また海外では、基礎分野の研究において研究機関と企業との連携が強化され、研究開発が推進されている。従って、劣化機構解明などの耐久性・信頼性向上のための基礎研究を産学官等のSOFC関連の研究開発者が協力して戦略的に取り組み、基盤技術を確立することが必要である。</p>		

## (2) 研究開発目標の妥当性

固体酸化物形燃料電池の実用化を目指して以下のような目標を設定する。普及時における技術レベルを念頭に置いた難易度の高い目標であり妥当と考える。

普及時とは以下の年間生産数を想定する。

小容量（数 kW 未満）：生産数 5 万 kW / 年レベル）

中容量（数十 kW ~ 数百 kW）：生産数 1 5 万 kW レベル）

### ① 耐久性・信頼性向上のための基盤研究

セルスタック内の物質移動、不純物との化学反応及び構造変化による劣化について、それぞれ熱力学的解析、化学的解析、機械的解析を用いて、ミクロの観点から劣化機構を解析する。特に、性能に大きな影響を与える三相界面については、微細構造を解明し、さらに性能劣化と微細構造の変化の相関付けを行う。また、マクロの観点から劣化機構を解析し、ユーザーが容易に余寿命を評価できるような耐久性評価手法を開発する。なお、本研究は、セルスタックで実施する。

「目標」

◎ 4 万時間（電圧低下率 0. 2 5 % / 1 0 0 0 時間）の見通しを得る。

◎ 起動停止回数 2 5 0 回の見通しを得る。

( i ) 熱力学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

( ii ) 化学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

( iii ) 機械的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

( iv ) 三相界面についての劣化現象と微細構造変化の相関付け

( v ) ユーザーが容易に余寿命を評価できるような耐久性評価手法の確立

### ② 実用性向上のための技術開発

固体酸化物形燃料電池の実用性向上のために、セルスタック原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術、運用性向上のための起動停止技術及び超高効率運転のための高圧運転技術を開発する。なお、本開発は、主にセルスタック・モジュールで実施する。

「目標」

◎ 普及時においてセルスタック 5 万円 / kW 程度の見通しを得る。

◎ 耐久性 4 万時間（電圧低下率 0. 2 5 % / 1 0 0 0 時間）の見通しを得る。

◎ 起動停止回数 2 5 0 回の見通しを得る。

◎ 超高効率運転のための高圧運転技術の確立

運用性向上のための起動停止技術及び超高効率運転のための高圧運転技術の開発は、システム発電効率（コージェネレーションシステム 4 5 % L H V、コンバインドサイクルシステム 5 0 % L H V）を達成できると見込めるモジュールを用いて実施する。なお、起動停止回数 2 5 0 回の見通し目標は、超高効率運転のための高圧運転技術に関しては適用しない。

## (3) 研究開発マネジメント

プロジェクトリーダーを設置するとともに、N E D O 技術開発機構に設置する技術委員会等、外部有識者の意見を適宜運営管理に反映させると共に、研究 3 年目の平成 2 2 年度に中間評価を実施する予定であり、マネジメントとして妥当である。

(4) 研究開発成果

我が国の固体酸化物形燃料電池システムは、世界的に比較して開発が進んだ状況にあり、このまま世界をリードし続けるためには基盤的な技術の確立が重要である。

本事業により、小型分散型電源としてのSOFC技術を確立し、格段の進展が達成された場合には大規模火力代替システムまで広い適応性を持つことが期待されるので、その波及効果は大きい。

(5) 実用化・事業化の見通し

「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」(平成16-19年)及び「固体酸化物形燃焼電池実証研究」(平成19年度から開始)から抽出されている技術課題を本事業によって解決することで、実用化のために必要な基盤技術を整備することができ、固体酸化物形燃料電池の実用化に大きく貢献できる。また、近年、燃料多様化に関して石炭ガス化技術等でも着実な進展が見られることから、これらの技術の完成時に固体酸化物形燃料電池と組合せることで、多様な燃料に対応可能で、かつ小型分散型から大規模火力代替システムに至るまでの高効率発電システムを事業化でき、エネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題(CO<sub>2</sub>)等地球環境問題の解決、新規産業・雇用の創出等に大きく寄与するものと考えられる。

(6) その他特記事項

「SOFC将来構想に関する提言」(平成16年6月、NEDO技術開発機構 SOFC技術編集委員会)の内容を踏まえ、基礎分野から実用システムレベルまでの幅広い技術課題に、本事業は対応している。

5. 総合評価

本事業は、固体酸化物形燃料電池の実用化に不可欠な、耐久性・信頼性とコスト競争力、そして運用性の確保のための開発を実施するものであり、環境戦略やエネルギー戦略に対しても大きく寄与すると考えられることから、NEDO技術開発機構として実施することが適切と判断する。



### 研究テーマ名 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発

#### 研究目的

##### 背景:

固体酸化物形燃料電池(SOFC)は、化石燃料を使用する発電システムで最も高い発電効率が期待でき、天然ガス、石炭ガス化ガスの他にバイオガス等の多様な燃料に対応が可能であるうえに、小型分散型から大規模火力代替システムまで広い適応性を持ち、更に高価な白金触媒を必要としない等の優れた特徴を有している。これらの優れた特徴から、エネルギー供給の安定化及び効率化と地球温暖化問題及び地域環境問題を解決することができる可能性を持つ高効率発電システムとして実用化に高い期待が寄せられている。

「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」(平成16年度～19年度)では、10kW級～200kW級の燃料電池システムの技術開発を実施し、3000時間の耐久試験などにより、市場導入するために必要な技術課題を抽出した。また、「固体酸化物形燃料電池実証研究」(平成19年度より開始)では、小容量のシステムの実負荷条件での技術課題を抽出している。

##### 必要性:

上記背景により、耐久性・信頼性等が市場導入レベルに達していないことが重要な課題として明らかになっている。また海外では、基礎分野の研究において研究機関と企業との連携が強化され、研究開発が推進されている。従って、劣化機構解明などの耐久性・信頼性向上のための基礎研究を産学官等のSOFC関連の研究開発者が協力して戦略的に取り組むこと及び運用性・耐久性、コスト低減などの実用性向上のための技術開発を実施して、基盤技術を確立することが必要である。

##### 目的:

本事業では、固体酸化物形燃料電池システムを早期に市場導入するために必要な基礎研究と要素技術開発を実施して、その基盤技術を確立することを目的とする。

#### プロジェクトの規模

##### ○事業費と研究期間

事業費総額：70億円(予定)， 研究期間：5年

#### 研究内容

##### ○研究開発課題

固体酸化物形燃料電池システムを市場導入するための基盤技術の確立のために下記の研究開発を行う。なお、事業の運営にあたっては「固体酸化物形燃料電池実証研究」との連携を図る。

##### 「耐久性・信頼性向上のための基礎研究」

- ①熱力学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立
- ②化学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立
- ③機械的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立
- ④三相界面についての劣化現象と微細構造変化の相関付け
- ⑤耐久性評価手法の確立

##### 「実用性向上のための技術開発」

- ⑥セルスタック原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発
- ⑦運用性向上のための起動停止技術開発
- ⑧超高効率運転のための高圧運転技術の開発

##### ○目標

##### 「耐久性・信頼性向上のための基礎研究」

本研究は、セルスタックで実施する。

・4万時間(電圧低下率 0.25%/1000時間)の見通しを得る。

・起動停止回数250回の見通しを得る。

- ①熱力学的解析、②化学的解析、③機械的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立
- ④三相界面についての劣化現象と微細構造変化の相関付け
- ⑤ユーザーが容易に余寿命を評価できるような耐久性評価手法の確立

##### 「実用性向上のための技術開発」

本開発は、主にセルスタック・モジュールで実施する。

⑥普及時においてセルスタック5万円/kW程度の見通しを得る。

⑦起動停止回数250回の見通しを得る。耐久性4万時間(電圧低下率 0.25%/1000時間)の見通しを得る。

⑧超高効率運転のための高圧運転技術を確立する。耐久性4万時間(電圧低下率 0.25%/1000時間)の見通しを得る。



### 研究テーマ名 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発

## 固体酸化物形燃料電池を早期に市場導入するための 基盤技術の確立を目的とする。

### 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

セルスタックの劣化機構の解明の  
ための基礎研究



円筒縦縞形セルバンドル 円筒横縞形セルと数100kW加圧モジュール

### 「劣化要因」

1. 物質移動による劣化
2. 不純物による劣化
3. 微細構造の変化による劣化

セルスタックの劣化機構の解明  
と加速試験方法の確立

### 実用性向上のための技術開発

低コスト化のための技術開発

セルスタック原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術  
開発

起動停止及び高圧運転に関する  
技術開発



数10kWコジェネシステム

運用性向上  
のための起  
動停止技術  
の開発



数100kWコンバインドサイクルシステム

超高効率運転の  
ための高圧運転  
技術の開発

### 実証研究との連携

「固体酸化物形燃料電池実証研究」から抽出される技術課題を機動的に取り  
込むことに留意して、市場導入するための基盤技術を効率的に確立する。

「固体酸化物燃料電池システム要素技術開発基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成 20 年 3 月 24 日  
N E D O 技術開発機構  
燃料電池・水素技術開発部

N E D O P O S T 3 において標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。  
みなさまからのご協力を頂き、ありがとうございました。

1. パブリックコメント募集期間

平成 20 年 2 月 25 日～平成 20 年 3 月 2 日

2. パブリックコメント投稿数＜有効なもの＞

計 0 件

以上

## (プロジェクト全体)

	H20	H21	H22	H23	H24	計
特許出願 (外国特許)	11 (0)	12 (0)	13 (0)	20 (0)	0 (0)	56 件 (0) 件
査読付き論文	22	32	37	51	17	159 件
研究発表・講演	76	187	231	213	45	752 件
受賞実績	0	2	0	4	0	6 件
新聞・雑誌等への掲載	0	6	6	2	1	15 件
展示会への出展	0	3	1	0	0	4 件

\* 複数の研究項目に関するものがあるため、下記項目毎の件数の合計は上記と一致しない。

## ①基盤的・共通的課題のための研究開発

## (i) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

	H20	H21	H22	H23	H24	計
特許出願 (外国特許)	11 (0)	8 (0)	10 (0)	20 (0)	0 (0)	52 件 (0) 件
査読付き論文	22	30	35	51	17	155 件
研究発表・講演	74	172	221	213	45	749 件
受賞実績	0	2	0	4	0	6 件
新聞・雑誌等への掲載	0	5	3	2	1	11 件
展示会への出展	0	3	3	2	0	8 件

## ①基盤的・共通的課題のための研究開発

## (ii) 原料・材料の低コスト及び低コスト化セルスタック・モジュールの技術開発

## a. 耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ材料の開発

	H20	H21	H22	H23	H24	計
特許出願	0	1	2			3 件
論文	0	0	1			1 件
研究発表・講演	1	2	6			9 件
受賞実績	0	0	0			0 件
新聞・雑誌等への掲載	0	1	2			3 件
展示会への出展	0	1	1			2 件

(ii) 原料・材料の低コスト及び低コスト化セルスタック・モジュールの技術開発

b. セルスタック材料の低コスト化技術開発

	H20	H21	H22	H23	H24	計
特許出願	0	0	0			0 件
論文	3	1	0			4 件
研究発表・講演	12	8	1			21 件
受賞実績	0	0	0			0 件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	1			1 件
展示会への出展	0	1	0			1 件

②実用性向上のための技術開発

(i) 運用性向上のための起動停止技術 (a. 高温円筒縦縞形)

	H20	H21	H22	H23	H24	計
特許出願	0	1	0			1 件
論文	0	0	0			0 件
研究発表・講演	2	0	0			2 件
受賞実績	0	0	0			0 件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0			0 件
展示会への出展	0	0	0			0 件

(i) 運用性向上のための起動停止技術 (b. 中温円形平板形)

	H20	H21	H22	H23	H24	計
特許出願	0	3	0			3 件
論文	0	0	0			0 件
研究発表・講演	0	7	3			10 件
受賞実績	0	0	0			0 件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0			0 件
展示会への出展	0	0	0			0 件

(ii) 超高効率運転のための高圧運転技術

	H20	H21	H22	H23	H24	計
特許出願 (外国特許)	6 (0)	8 (0)	10 (0)	20 (0)	0 (0)	44 件 (0) 件
論文	1	4	2	1	1	9 件
研究発表・講演	9	8	15	9	3	44 件
受賞実績	0	0	0	0	0	0 件
新聞・雑誌等への掲載	0	2	0	0	1	3 件
展示会への出展	0	0	0	0	0	0 件

①基盤的・共通の課題のための研究開発

(i) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

課題 1-1) 中温筒状平板形

—新聞・雑誌—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 21 年 11 月 11 日	日本経済新聞	家庭用新型燃料電池の実証実験	大阪ガス
2	平成 21 年 12 月 11 日	日本経済新聞	次世代型、11 月に実用化	大阪ガス
3	平成 23 年 9 月 15 日	各新聞社へのニュースリリース	いよいよ 10 月より SOFC 型エネファームを販売開始	JX 日鉱日石エネルギー
4	平成 24 年 3 月 31 日	各社新聞者へのニュースリリース	家庭用燃料電池 (SOFC) の開発完了および「エネファーム type S」の販売開始	大阪ガス (株)、アイシン精機 (株)、京セラ (株)、(株) 長府製作所、トヨタ自動車 (株)

課題 1-2) 中温筒状横縞形

—論文—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 23 年 5 月 1-6 日	ECS Transaction	Durability Tests of Flatten Tubular Segmented-in-Series Type SOFC Stacks for Intermediate Temperature Operation	K. Horiuchi, K. Nakamura, M. Matsuzaki, S. Yamashita, T. Horita, H. Kishimoto, K. Yamaji, H. Yokokawa
2	平成 24 年 7 月末	燃料電池 夏号 (VOL. 12, NO. 1, P6-10, 2012)	東京ガスにおける SOFC の開発状況	中村 和郎、染川 貴亮、藤田 顕二郎、松崎 良雄、山下 敏

課題 1-3) 中温小型円筒形

(前期課題 円筒縦縞形を含む)

(① (ii) 原料・材料の低コスト及び低コスト化セルスタック・モジュールの技術開発

b. セルスタック材料の低コスト化技術開発と一部重複記載)

(② (i) 運用性向上のための起動停止技術 (a. 高温円筒縦縞形) と一部重複記載)

—研究発表・講演—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 12 月 15 日	第 4 回 FC EXPO in 大阪	TOTO における SOFC の開発状況	上野 晃
2	平成 21 年 2 月 27 日	FC EXPO2009	TOTO における SOFC の開発状況	上野 晃
3	平成 21 年 7 月 2 日	平成 20 年度 NEDO 成果報告シンポジウム	高温円筒縦縞形耐久性の評価	宮尾元泰
4	平成 22 年 3 月 23 日	第 50 回セラミック協会年会	SOFC 運転下における Sc203-CeO2 安定化 ZrO2 の相変態とその機構	島津めぐみ
5	平成 22 年 6 月 23 日	Fourth International Conference on Science and Technology of Advanced Ceramics	The Effect of Manganese on Phase transformations of Sc203 and CeO2 co-doped ZrO2 during the Operation of Solid Oxide Fuel Cells	(TOTO) ○島津めぐみ、樋渡研一、安藤茂、上野晃、(産業技術総合研究所) 山地克彦、岸本治夫、横川晴美、(東京工業大学大学院) 磯部敏宏、中島章、岡田清
6	平成 22 年	平成 21 年度 NEDO 成果報告シン	高温円筒縦縞形耐久性の評価	宮尾元泰

	7月7日	ポジウム		
7	平成22年9月2日	福岡水素エネルギー人材育成センター 第3回高度人材育成コース	TOTOにおける家庭用SOFCの開発状況	榎山 大
8	平成22年9月30日	第2回 FC Expo セミナー in 福岡	TOTOにおける家庭用SOFCの取り組みと課題	土屋 勝久
9	平成22年11月4日	SOFC研究会基礎セミナー	SOFCのシステム設計	上野 晃
10	平成22年11月15日	3rd International congress on ceramics	Development of TOTO SOFC module	柿沼 保夫
11	平成22年11月29日	日本ファインセラミックマシナリー協会 第2回新技術発表会	TOTOにおける固体酸化物形燃料電池の開発状況	上野 晃
12	平成22年12月16日	第19回 SOFC 研究発表会	TOTOにおける家庭用SOFCの開発状況	大村肇、渡邊直樹、赤木陽祐、井坂暢夫、田中修平、佐藤真樹、星子琢也、足立圭司、大塚俊治、川上晃、中野清隆、大江俊春
13	平成23年3月10日	固体酸化物形燃料電池実証研究事業成果報告会	TOTOにおける家庭用SOFCの開発状況	中野 清隆
14	平成23年3月10日	東京都市大学 戦略的研究基盤形成支援事業 第2回シンポジウム	TOTOにおけるSOFCシステムの開発状況	上野 晃
15	平成23年3月16日	日本セラミックス協会 2011 年年会	SOFC 運転下における Sc203-CeO2 ドープ ZrO2 の安定性に及ぼす不純物の影響	島津 めぐみ
16	平成23年5月18日	第18回燃料電池シンポジウムプログラム	TOTOにおける家庭用SOFCの開発状況	坂本泰一郎
17	平成23年10月12日	国際セラミックス総合展 2011 年セラミックスアーカイブ	高効率な発電を行う燃料電池	松岡 聡
18	平成23年10月31日	Fuel Cell Seminar, 2011	Development Status of SOFC at TOTO	Kosaku Fujinaga
19	平成23年11月14日	大阪科学技術センター 第205回燃料電池部会・FCH 基盤技術懇談会	TOTOにおける家庭用燃料電池開発の状況	大江 俊春
20	平成23年12月12日	第20回 SOFC 研究発表会	TOTOにおける家庭用SOFCの開発状況	大塚俊治、坂本泰一郎、阿部俊哉、中野清隆
21	平成24年3月15日	大学技術とのオープン・イノベーション推進セミナー	TOTOにおける SOFC 開発状況	上野 晃
22	平成24年5月16日	第19回燃料電池シンポジウムプログラム	TOTOにおける SOFC 開発状況	田中修平、阿部俊哉、坂本泰一郎、大塚俊治、中野清隆

—論文—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成20年8月1日	FCDIC 燃料電池夏号	TOTOにおける定置型SOFCの開発状況	樋渡 研一
2	平成21年1月1日	月刊クリーンエネルギー誌	TOTOにおけるSOFCの開発と今後の展開	上野 晃
3	平成22年7月30日	FCDIC 燃料電池夏号	TOTOにおける家庭用SOFCの開発状況	上野 晃
4	平成23年2月1日	Solid State Ionics 182 (2011) 120-126	Stability of Sc203 and CeO2 co-doped ZrO2 Electrolyte during the Operation of Solid Oxide Fuel Cells	Megumi Shimazu
5	平成23年6月1日	Solid State Ionics 204-205, 120-128 (2011)	Stability of Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> and CeO <sub>2</sub> co-doped ZrO <sub>2</sub> electrolyte during the operation of solid	Megumi Shimazu

			oxide fuel cells: Part II the influences of Mn, Al and Si	
6	平成 24 年 6 月 30 日	水素エネルギー協会 (HESS) 会誌, Vol. 37, No. 2, pp. 124-127, 2012	TOTO における SOFC 開発状況	上野 晃
7	平成 24 年 7 月 30 日	FCDIC 燃料電池夏号	TOTO における家庭用 SOFC の開発状況	上野 晃

—新聞・雑誌—

No.	年月	タイトル	発表者	発表形態
1	平成 22 年 2 月 17 日	TOTO 投資 (茅ヶ崎工場へのセラミック部材量産化の設備投資関連記事)	T O T O	日本経済新聞 日刊工業新聞 日経産業新聞 フジサンケイビジネスアイ

—展示会への出展—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 22 年 9 月 29 日	水素エネルギー先端技術展 2010 ポスター展示	T O T O 燃料電池開発	宮尾 元泰

課題 1-4) 高温円筒横縞形

- (① (ii) 原料・材料の低コスト及び低コスト化セルスタック・モジュールの技術開発  
b. セルスタック材料の低コスト化技術開発と一部重複記載)
- (②実用性向上のための技術開発 (ii) 超高効率運転のための高圧運転技術と一部重複記載)

—特許—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 20 年 4 月 16 日	特願 2008-107046	燃料電池モジュール	三菱重工業株式会社
2	平成 20 年 4 月 23 日	特願 2008-112882	固体酸化物型燃料電池	三菱重工業株式会社
3	平成 20 年 12 月 11 日	特願 2008-315807	固体酸化物形燃料電池	三菱重工業株式会社
4	平成 20 年 12 月 22 日	特願 2008-325233	固体酸化物形燃料電池および固体酸化物形燃料電池システム	三菱重工業株式会社
5	平成 20 年 12 月 26 日	特願 2008-331759	固体酸化物型燃料電池	三菱重工業株式会社
6	平成 20 年 12 月 26 日	特願 2008-332046	固体酸化物型燃料電池	三菱重工業株式会社
7	平成 21 年 6 月 18 日	特願 2009-145015 号	固体電解質型燃料電池インターコネクタ用材料、固体電解質型燃料電池セル、及び、固体電解質型燃料電池	三菱重工業株式会社
8	平成 21 年 11 月 30 日	特願 2009-272760 号	燃料電池	三菱重工業株式会社
9	平成 21 年 12 月 21 日	特願 2009-289807 号	固体酸化物形燃料電池発電システム	三菱重工業株式会社
10	平成 21 年 12 月 21 日	特願 2009-289808 号	固体酸化物燃料電池及びその運転方法	三菱重工業株式会社
11	平成 21 年 12 月 25 日	特願 2009-296153 号	固体酸化物形燃料電池システム	三菱重工業株式会社

12	平成 22 年 2 月 26 日	特願 2010-043519 号	固体電解質燃料電池用セルチューブ、及び固体電解質燃料電池	三菱重工業株式会社
13	平成 22 年 2 月 26 日	特願 2010-043522 号	固体電解質型燃料電池	三菱重工業株式会社
14	平成 22 年 3 月 2 日	特願 2010-045906 号	燃料電池	三菱重工業株式会社
15	平成 22 年 7 月 13 日	特願 2010-159181 号	固体酸化物型燃料電池及びその製造方法	三菱重工業株式会社
16	平成 22 年 9 月 8 日	特願 2010-201043 号	固体酸化物形燃料電池の起動方法	三菱重工業株式会社
17	平成 22 年 11 月 1 日	特願 2010-245218 号	燃料電池用集電棒のシール構造	三菱重工業株式会社
18	平成 22 年 11 月 10 日	特願 2010-294249 号	固体電解質型燃料電池の起動方法	三菱重工業株式会社
19	平成 22 年 12 月 17 日	特願 2010-282258 号	シール構成部材を形成する方法及び固体電解質型燃料電池モジュールの製造方法	三菱重工業株式会社
20	平成 22 年 12 月 28 日	特願 2010-294250 号	固体電解質型燃料電池の運転状態の監視方法	三菱重工業株式会社
21	平成 23 年 2 月 22 日	特願 2011-036327 号	固体酸化物形燃料電池及びそれを用いた固体酸化物形燃料電池の温度分布調整方法	三菱重工業株式会社
22	平成 23 年 2 月 22 日	特願 2011-036328 号	固体酸化物形燃料電池の熱交換用上部又は下部中子、及び固体酸化物形燃料電池	三菱重工業株式会社
23	平成 23 年 3 月 11 日	特願 2011-054726 号	固体酸化物形燃料電池集合体の上部支持構造	三菱重工業株式会社
24	平成 23 年 3 月 16 日	特願 2011-058589 号	燃料電池・ガスタービンコンバインド発電システム及びその燃料電池の起動方法	三菱重工業株式会社
25	平成 23 年 4 月 21 日	特願 2011-095477	燃料電池・ガスタービンコンバインド発電システム及びその燃料電池の停止方法	三菱重工業株式会社
26	平成 23 年 4 月 21 日	特願 2011-095478	燃料電池システム	三菱重工業株式会社
27	平成 23 年 5 月 31 日	特願 2011-122500	固体酸化物形燃料電池	三菱重工業株式会社
28	平成 23 年 6 月 24 日	特願 2011-141129	固体酸化物形燃料電池	三菱重工業株式会社
29	平成 23 年 10 月 5 日	特願 2011-221259	高温型燃料電池を有するガスタービンコンバインド発電システムおよび高温型燃料電池を有するガスタービンコンバインド発電システムの運転方法	三菱重工業株式会社
30	平成 23 年 11 月 30 日	特願 2011-261887	固体酸化物型燃料電池	三菱重工業株式会社
31	平成 24 年 1 月 5 日	特願 2012-000704	固体電解質型燃料電池の製造方法及び固体電解質型燃料電池	三菱重工業株式会社
32	平成 24 年 1 月 6 日	特願 2012-001455	固体電解質型燃料電池セルチューブの製造方法	三菱重工業株式会社
33	平成 24 年 1 月 6 日	特願 2012-037916	固体電解質型燃料電池セルチューブの製造方法	三菱重工業株式会社
34	平成 24 年 1 月 30 日	特願 2012-017331	固体酸化物形燃料電池の起動方法	三菱重工業株式会社
35	平成 24 年 1 月 31 日	特願 2012-018009	固体電解質型燃料電池	三菱重工業株式会社

36	平成 24 年 2 月 3 日	特願 2012-034328	燃料電池及びその酸化剤供給方法	三菱重工業株式会社
37	平成 24 年 2 月 17 日	特願 2012-033051	燃料電池及び燃料電池の停止時冷却方法	三菱重工業株式会社
38	平成 24 年 2 月 20 日	特願 2012-034326	燃料電池及びその酸化剤排出方法	三菱重工業株式会社
39	平成 24 年 2 月 20 日	特願 2012-034327	固体酸化物形燃料電池及び複合発電システム	三菱重工業株式会社
40	平成 24 年 2 月 20 日	特願 2012-022238	燃料電池及びその酸化剤供給方法	三菱重工業株式会社
41	平成 24 年 2 月 22 日	特願 2012-036309	固体酸化物形燃料電池の運転方法、複合発電システムの運転方法、固体酸化物形燃料電池システム及び複合発電システム	三菱重工業株式会社
42	平成 24 年 2 月 22 日	特願 2012-036438	固体酸化物形燃料電池	三菱重工業株式会社
43	平成 24 年 2 月 29 日	特願 2012-044427	SOFC 複合発電装置およびその運転方法	三菱重工業株式会社
44	平成 24 年 2 月 29 日	特願 2012-044819	コンバインド発電システム、及びコンバインド発電システムの運転方法	三菱重工業株式会社

—研究発表・講演—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 5 月 26 日	第 72 回 SOFC 研究会	三菱重工における SOFC 開発について	小林 由則
2	平成 20 年 6 月 10 日	第 73 回 SOFC 研究会 (International Symposium on Durability and Reliability of Solid Oxide Fuel Cells)	Study on Degradation Behavior of Segmented-in-series Tubular SOFCs	富田 和男
3	平成 20 年 6 月 17 日	FC 懇談会	200kW 級 SOFC-MGT コンバインドサイクルシステムの開発	加幡 達雄
4	平成 20 年 9 月 18 日	2008 KOREA-JAPAN-CHINA SOFC SYMPOSIUM	Performance Improvement and Durability Test of Segmented-in-series Tubular Type SOFCs	富田 和男、加幡 達雄、佃 洋、大隈 滋、宮本 晃志、山下 晃弘
5	平成 20 年 10 月 15 日	4th International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells	Development of the 200kW class SOFC-MGT Combined Cycle System	加幡 達雄
6	平成 20 年 10 月 21 日	技術情報センターセミナー 燃料電池の開発動向と今後の展望～MCFC、PEFC、SOFCの開発最前線～	固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の開発動向と今後の展開～SOFC・ガスタービンコンバインドサイクルシステムの開発動向～	小林 由則
7	平成 20 年 10 月 30 日	FC Seminar	Development of the 200kW class SOFC-MGT Combined Cycle System with Tubular Type Cell-Stack	加幡 達雄、西浦 雅則、富田 和男、古賀 重徳、眞竹 徳久、安藤 喜昌、小林 由則
8	平成 20 年 12 月 12 日	2008 年度ガスタービンシンポジウム	200kW 級 SOFC-MGT 複合発電システムの開発	加幡 達雄
9	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会	円筒形 SOFC 高効率コンバインドサイクルシステムの開発	富田 和男、加幡 達雄、西浦 雅則、古賀 重徳、眞竹 徳久、安藤 喜昌、小林 由則
10	平成 21 年 5 月 12 日	FCDIC 第 16 回燃料電池シンポジウム	固体酸化物形燃料電池とガスタービンコンバインドによる高効率発電システム	小林 由則、安藤 喜昌、加幡 達雄、西浦 雅則
11	平成 21 年 7 月 9 日	化学工学会 関西支部セミナー 「省エネルギー戦略 -低炭素社会時代を切り開く省エネルギー技術-」	固体酸化物型燃料電池とガスタービンとのコンバインド高効率発電システム	小林 由則

12	平成 21 年 12 月 10 日	SOFC Seminar 2009 in Kyoto	Current Status and Future Prospects for Large-Scale SOFC Combined Cycle System	宮本 晃志
13	平成 21 年 12 月 11 日	産業技術総合研究所 環境・エネルギーシンポジウム	固体酸化物形燃料電池とガスタービンの組み合わせによる最高効率の火力発電システムの開発状況	小林 由則
14	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会	SOFC-ガスタービン複合発電システムの開発	加幡 達雄、西浦 雅則、富田 和男、池田 浩二、古賀重徳、宮本 晃志、安藤 喜昌、小林 由則、眞竹 徳久、佃 洋、末森 重徳
15	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会	円筒形 SOFC 発電システムの信頼性向上	末森 重徳、佃 洋、眞竹 徳久、富田 和男、古賀 重徳、宮本 晃志、西浦 雅則、池田 浩二、加幡 達雄、安藤 喜昌、小林 由則
16	平成 22 年 1 月 22 日	第 38 回ガスタービン学会	SOFC-ガスタービン複合発電システムの開発	安藤 喜昌、小林 由則、加幡 達雄、西浦 雅則、池田 浩二、眞竹 徳久
17	平成 22 年 3 月 5 日	FC EXPO 2010 ～第 6 回 国際水素・燃料電池展～	大型 SOFC コンバインド発電システムの開発状況と今後の展開	小林 由則
18	平成 22 年 6 月 10 日	日本機械学会動力・エネルギーシンポジウム	SOFC の加圧下における性能向上とモジュール化についての研究	橋本 彰、小阪 健一郎、眞竹 徳久、木藪 敏康、小林 由則、加幡 達雄
19	平成 22 年 7 月 15 日	くまもと技術革新・融合研究会 (RIST) フォーラム	SOFC-ガスタービン複合発電システムの開発状況	西浦 雅則
20	平成 22 年 9 月 5 日	Asian SOFC Symposium	Development of SOFC-GT Combined Cycle System	吉田 慎、寺本 雄一、宮本 晃志、古賀 重徳、富田 和男、西浦 雅則、加幡 達雄、安藤 喜昌、小林 由則、眞竹 徳久、佃 洋、末森 重徳
21	平成 22 年 9 月 27 日	F-CELL 2010	Development of the SOFC-GT Combined Cycle System with Tubular Type Cell Stack	西浦 雅則
22	平成 22 年 9 月 29 日	大阪科学技術センター (OSTEC) 燃料電池部会 FCH 基盤技術懇談会 第 195 回定期研究会	SOFC-ガスタービン複合発電システムの開発	加幡 達雄
23	平成 22 年 10 月 13 日	火原協/平成 22 年度火力原子力発電大会	トリプルコンバインドサイクルによる最高効率発電システムの開発	小林 由則
24	平成 22 年 10 月 18 日	FC Seminar 2010	Development of the SOFC-GT Combined Cycle System with Tubular Type Cell Stack	富田 和男、西浦 雅則、古賀 重徳、宮本 晃志、寺本 雄一、吉田 慎、加幡 達雄、安藤 喜昌、小林 由則、眞竹 徳久、末森 重徳
25	平成 22 年 10 月 29 日	化学工学会 関西支部セミナー	SOFC と GTCC の組み合わせによる最高効率発電システムの開発	小林 由則
26	平成 22 年 11 月 3 日	SOFC 研究会 基礎セミナー	コンバインド SOFC システム	加幡 達雄
27	平成 22 年 11 月 6 日	第 2 回 九州パワーアカデミー研究部会シンポジウム	固体酸化物形燃料電池 (SOFC) 複合発電システムの開発	加幡 達雄
28	平成 22 年 11 月 11 日	東京がエネルギーソリューション総合展 熱電プラザ 2010 セミナー	SOFC と MGT を組み合わせた高効率ハイブリッドシステムの開発	小林 由則
29	平成 22 年 12 月 16 日	第 19 回 SOFC 研究発表会	SOFC-ガスタービン複合発電システムの開発	寺本 雄一、加幡 達雄、眞竹 徳久

30	平成 23 年 1 月 26 日	電気化学会主催セミナー「最先端電池技術」	三菱重工における SOFC-GTCC 開発状況	安藤 喜昌
31	平成 23 年 3 月 1 日	クリーンエネルギー	固体酸化物形燃料電池 (SOFC) トリプルコンバインドシステムの開発	西浦 雅則、加幡 達雄、岩田 光由、眞竹 徳久
32	平成 23 年 3 月 3 日	FC EXPO 2011 ~第 7 回 国際水素・燃料電池展~	SOFC トリプルコンバインドサイクルシステムの開発状況と今後の展開	小林 由則
33	H23 年 5 月 2 日	SOFC-XII	Development of the SOFC-GT Combined Cycle System with Tubular Type Cell Stacks	吉田 慎、加幡 達雄、西浦 雅則、古賀 重徳、富田 和男、宮本 晃志、寺本 雄一、眞竹 徳久、佃 洋、末森 重徳、安藤 喜昌、小林 由則
34	平成 23 年 9 月 12 日	日本機械学会 2011 年度年次大会「ワークショップ」	SOFC トリプルコンバインドサイクルシステムの開発	加幡 達雄
35	平成 23 年 10 月 20 日	火力原子力発電技術協会中部支部主催講演会	SOFC と GTCC の組み合わせによる 最高効率発電システムの開発 (トリプルコンバインドサイクル™への挑戦)	小林 由則
36	平成 23 年 12 月 1 日	機械材料学 (東大講義)	燃料電池と材料	加幡 達郎
37	平成 23 年 12 月 8 日	第 37 回固体イオニクス討論会	SOFC-ガスタービン複合発電システムの現状と今後の展望	富田 和男
38	平成 23 年 12 月 12 日	第 20 回 SOFC 研究発表会	SOFC トリプルコンバインドサイクル システムの開発	吉田 慎、加幡 達雄、西浦 雅則、富田 和男、宮本 晃志、寺本 雄一、安藤 喜昌、眞竹 徳久、佃 洋、末森 重徳
39	平成 24 年 2 月 10 日	火力原子力発電技術協会東北支部技術講演会	SOFC と GTCC の組み合わせによる 最高効率発電システムの開発 (トリプルコンバインドサイクルへの挑戦)	小林 由則
40	平成 24 年 2 月 29 日	FC EXPO 2012 ~第 8 回 国際水素・燃料電池展~	SOFC トリプルコンバインドサイクルシステムの開発状況と今後の展開	小林 由則
41	平成 24 年 3 月 27 日	日本化学会第 92 春季年会	SOFC トリプルコンバインドサイクル システムの開発状況	小林 由則
42	平成 24 年 5 月 16 日	FCDIC 第 19 回燃料電池シンポジウム	SOFC トリプルコンバインドサイクルシステムの開発	荒木研太、西浦雅則富田和男、宮本晃志、寺本雄一、吉田慎、眞竹徳久、佃洋、末森重徳、加幡達雄、安藤喜昌、小林由則
43	平成 24 年 6 月 22 日	動力・エネルギーシンポジウム	SOFC トリプルコンバインドサイクルシステムの開発構想と取組状況	小林由則、富田和男、眞竹徳久、
44	平成 24 年 6 月 28 日	10th EUROPEAN SOFC FORUM	Chromium Poisoning of LaMnO <sub>3</sub> -based Cathode within Generalized Approach	横川晴美、堀田照久、山地克彦、岸本治夫、山本融、吉川将洋、麦倉良啓、加幡達雄、富田和男

—論文—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 21 年 2 月	粉体および粉末冶金第 56 巻第 2 号	Sr1-1.5xLaxTiO3 の焼結性と電気特性ならびに熱膨張挙動に及ぼす La 置換の影響	佃 洋、大隈 滋、富田 和男
2	平成 21 年 5 月	日本ガスタービン学会誌 Vol. 37 No. 3	マイクロガスタービン-SOFC ハイブリッドサイクル	君島 真仁、加幡 達雄

3	平成 21 年 5 月	Electrochemistry(電気化学会誌)	Optimization of Segmented-in-series Tubular SOFCs Using an La0.5Sr0.5-xCaxMnO3 System Cathode and the Generation Characteristics under Pressurization	富田 和男、久留 長生、加幡 達雄、佃 洋、山下 晃弘、山崎 陽太郎
4	平成 21 年 10 月	Electrochemistry(電気化学会誌)	Structural Modification of Segmented-in-series Tubular SOFCs Using Performance Simulation and the Effect of (Sm, Ce)O2 Cathode Interlayer on the Generation Characteristics under Pressurization	富田 和男、久留 長生、加幡 達雄、佃 洋、山崎 陽太郎
5	平成 21 年 12 月	Electrochemistry(電気化学会誌)	Optimization of Segmented-in-series Tubular SOFCs with an (La, Sr)CoO3 System Cathode and the Generation Characteristics under Pressurization	富田 和男、山下 晃弘、佃 洋、加幡 達雄、池田 浩二、久留 長生、山崎 陽太郎
6	平成 22 年 5 月	日本機械学会 英文ジャーナル (Journal of Power and Energy Systems)	Study on Optimization and Scale-up of Pressurized Solid Oxide Fuel Cells.	橋本 彰、小阪 健一郎、眞竹 徳久、木藪 敏康、小林 由則、加幡 達雄、富田 和男
7	平成 22 年 5 月	オーム社 技術総合誌 特集記事	固体酸化物形燃料電池とガスタービンの組み合わせによる最高効率の火力発電システムの開発	小林 由則
8	平成 23 年 11 月	ターボ機械誌	燃料電池複合発電システムの現状と展望	眞竹 徳久、西浦 雅則、富田 和男
9	平成 24 年 4 月	Electrochemistry(電気化学会誌)	SOFC-ガスタービン複合発電システムの現状と今後の展望	富田 和男、眞竹 徳久、西浦 雅則

## 前期課題 円形平板形

### —特許—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 21 年 1 月 9 日	特願 2009-003897	固体酸化物形燃料電池の活性化方法、ならびに固体酸化物形燃料電池の製造方法	関西電力(株)
2	平成 21 年 2 月 20 日	特願 2009-028362	平板形固体酸化物形燃料電池	三菱マテリアル(株) 関西電力(株)
3	平成 21 年 2 月 20 日	特願 2009-028363	平板形固体酸化物形燃料電池	三菱マテリアル(株) 関西電力(株)

### —研究発表・講演—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 6 月 9 日	International Symposium on Durability and Reliability of Solid Oxide Fuel Cells	Investigation for Improved Durability of kW-class Module made up of a Disk-type Seal-less Stack	秋草順、江藤浩之
2	平成 20 年 7 月 4 日	8th European SOFC Forum	Disk-Type Seal-Less IT-SOFC CHP System Development	宮澤隆、細井敬、山崎啓、西脇太
3	平成 20 年 9 月 17 日	2008 Korea-Japan-China SOFC Symposium	Development of IT-SOFC Using Lanthanum Gallate Electrolyte	稲垣亨、西脇太、大西靖孝、加藤正樹、山崎啓、平田勝哉、秋草順、アケイナ、江藤浩之
4	平成 20 年 10 月 22 日	The 6th Asian Meeting on Electroceramics	Development of Intermediate-Temperature Solid Oxide Fuel Cells Using Doped Lanthanum Gallate	江藤浩之、アケイナ、秋草順、魚住学司、千歳範壽、稲垣亨、石原達己

			Electrolyte	
5	平成 20 年 10 月 30 日	2008 Fuel Cell Seminar	Sulfur Poisoning of SOFC Cathodes	山地克彦, 熊岳平, 堀田照久, 横川晴美, 秋草順, 江藤浩之, 稲垣亨
6	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会	ランタンガレート系電解質を用いた低温作動 SOFC の開発 (8)	佐藤基樹, 平田勝哉, 西本竹英, 村上直也, 江藤浩之, 加藤正樹, 加納二郎, 西順也, 西脇太, 稲垣亨, 石原達己
7	平成 21 年 9 月 16 日	日本機械学会 2009 秋年次大会	中温円形平板形燃料電池の耐久性評価	江藤浩之, 秋草順, 魚住学司, 川野光伸, 稲垣亨
8	平成 21 年 10 月 6 日	SOFC-XI	Effect of SO <sub>2</sub> Concentration on Degradation of Sm <sub>0.5</sub> Sr <sub>0.5</sub> CoO <sub>3</sub> Cathode	K. Yamaji, Y. Xiong, M. Yoshinaga, H. Kishimoto, M. E. Brito, T. Horita, H. Yokokawa, J. Akikusa, M. Kawano
9	平成 21 年 11 月 17 日	2009 Fuel Cell Seminar	Progress in Development of IT-SOFC Based on Lanthanum Gallate Electrolyte	H. Eto, T. Akbay, K. Hirata, M. Sato, T. Inagaki, F. Nishiwaki
10	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会	耐久試験及び、起動停止後の 1kW 級 SOFC スタックの劣化要因解析	秋草順, 江藤浩之, 上野大介, 川野光伸, 稲垣亨
11	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回大会	SSC カソードの SO <sub>2</sub> 被毒 : 温度依存性に関する検討	山地克彦, 岸本治夫, 堀田照久, 横川晴美, 秋草順, 川野光伸

## 課題 2-1) 熱力学的解析

### —研究発表・講演—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 6 月 4 日	Asia-European Workshop on SOFC	On Degradation of Solid Oxide Fuel Cells	横川 晴美
2	平成 20 年 6 月 9 日	International Symposium in Durability and Reliability of Solid Oxide Fuel Cells	General Features of SOFC Degradation and Progress on Reliability in Japan	横川 晴美
3	平成 20 年 6 月 9 日	第 73 回 SOFC 研究会	Impurity and Interface Analyses for Degradation of SOFCs	堀田 照久, 岸本 治夫, 山地 克彦, 熊 岳平, M. E. Brito, 横川 晴美
4	平成 20 年 7 月 2 日	8th European SOFC Forum	Oxygen Diffusivity in Oxide Scales of Fe-Cr Alloy Interconnects	堀田 照久, 岸本 治夫, 山地 克彦, 熊 岳平, M. E. Brito, 横川 晴美, 馬場好孝, 小笠原慶, 亀田 治邦, 松崎 良雄, 山下 敏, 安田 信隆, 上原利弘
5	平成 20 年 7 月 3 日	8th European Solid Oxide Fuel Cell Forum	Effect of Contamination on the Durability of SOFC Stacks and Modules in Real Operation Condition	横川 晴美, 堀田 照久, 山地 克彦, 岸本 治夫, 熊 岳平, M. E. Brito
6	平成 20 年 8 月 11 日	Workshop on Thermodynamics of Nano structured Materials and Materials under Exotic and Unusual Conditions	Thermodynamics of SOFC Materials	横川 晴美
7	平成 20 年 7 月 2 日	8th European Solid Oxide Fuel Cell Forum	Stability of the Ni-base Anode for Hydrocarbon Fuels Containing Sulfur	岸本 治夫, 山地 克彦, 堀田 照久, 熊 岳平, M. E. Brito, 横川 晴美

8	平成 20 年 8 月 11 日	Workshop on Thermodynamics of Nano structured Materials and Materials under Exotic and Unusual Conditions	Thermodynamics of SOFC Materials: Why bulk thermodynamics can be effectively applied to the interface chemistry in nano scales?	横川 晴美
9	平成 20 年 9 月 18 日	2008 Korea-Japan-China SOFC Symposium	Degradation of SOFCs from the Materials Chemistry Point of View	横川 晴美、堀田 照久、山地 克彦、岸本 治夫、熊 岳平、M. E. Brito
10	平成 20 年 10 月 6 日	International Workshop on Accelerated Testing in Fuel Cells	Analysis of Impurity Levels of Components by SIMS for Degradation of Solid Oxide Fuel Cells	堀田 照久
11	平成 20 年 10 月 8 日	Fuel Cells Science &Technology2008	Effects of impurities on the degradation and long-term stability for Solid Oxide Fuel Cells	堀田 照久、岸本 治夫、山地 克彦、熊 岳平、M. E. Brito、横川 晴美、堀 雄一、宮地 達
12	平成 20 年 10 月 8 日	Fuel Cells Science &Technology2008	Anomalous Oxide Scale Formation under Exposure of Sodium Containing Atmospheres for SOFC Alloy Interconnects	堀田 照久、岸本 治夫、山地 克彦、熊 岳平、M. E. Brito、横川 晴美
13	平成 20 年 10 月 15 日	214th ECS Meeting	Phase Transformation of the Scandia Stabilized Zirconia in the Ni-ScSZ Cermet Anode	岸本 治夫、山地 克彦、堀田 照久、熊 岳平、M. E. Brito、横川 晴美
14	平成 20 年 10 月 28 日	2008 Fuel Cell Seminar & Exposition	Anode Degradation in SOFC : Fuel Impurity Effects on Nickel Component	岸本 治夫、山地 克彦、熊 岳平、堀田 照久、M. E. Brito、横川 晴美
15	平成 20 年 10 月 15 日	International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells (CCT&FCs-2008)	Recent studies on durability of SOFC materials at AIST	山地 克彦、岸本 治夫、熊 岳平、M. E. Brito、堀田 照久、横川 晴美
16	平成 20 年 10 月 28 日	2008 Fuel Cell Seminar & Exposition	Evaluation of Impurity Levels in Real SOFC Stacks and Modules	山地 克彦、岸本 治夫、熊 岳平、M. E. Brito、堀田 照久、横川 晴美
17	平成 20 年 10 月 30 日	2008 Fuel Cell Seminar & Exposition	Sulfur Poisoning of SOFC Cathodes	山地 克彦、熊 岳平、堀田 照久、横川 晴美、秋草 順、江藤 浩之、稲垣 亨
18	平成 20 年 12 月 9 日	IUMRS-ICA2008	Reactivity of Alkaline with Oxide Scale Formed on Fe-Cr Alloy for Solid Oxide Fuel Cells	堀田 照久、岸本 治夫、山地 克彦、熊 岳平、M. E. Brito、横川 晴美
19	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会	合金インターコネクト用酸化物コーティングにおける同位体酸素拡散	堀田 照久、山地 克彦、横川 晴美、馬場好孝、亀田治邦、松崎良雄、山下 敏、安田信隆、上原利弘
20	平成 20 年 12 月 4 日	第 34 回固体イオニクス討論会	Ni-ScSZ サーメットアノードにおける ScSZ の相変態	岸本 治夫、山地 克彦、堀田 照久、熊 岳平、M. E. Brito、吉永 昌史、横川 晴美
21	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会	不純物の反応駆動力と輸送量を制御した加速劣化試験法の検討	山地 克彦、岸本 治夫、熊 岳平、M. E. Brito、堀田 照久、横川 晴美
22	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学第 7 6 回大会	SOFC 単セル試験時の LSM/ScSZ 界面への白金の析出	山地 克彦、吉永昌史、岸本 治夫、熊 岳平、M. E. Brito、堀田 照久、横川 晴美
23	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学第 7 6 回大会	SOFC 空気極における Cr 蓄積量と Cr 被毒の分析	堀田 照久、熊 岳平、吉永昌史、岸本 治夫、山地 克彦、M. E. Brito、横川 晴美
24	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学第 7 6 回大会	石炭ガス化ガス導入後の燃料極分析	岸本 治夫、山地 克彦、堀田 照久、熊 岳平、M. E. Brito、吉永 昌史、横川 晴美、倉本 浩司、鈴木善三

25	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学第 7 6 回大会	石炭ガス化ガスによる SOFC 発電試験	倉本浩司、鈴木善三、岸本 治夫、山地 克彦、堀田 照久、熊 岳平、M. E. Brito、横川 晴美
26	平成 21 年 10 月 5 日	SOFC-XI	ACCELERATED DEGRADATION OF SOFC CATHODES BY Cr VAPORS	堀田照久、熊 岳平、吉永昌史、岸本治夫、山地克彦、M. E. Brito、横川晴美
27	平成 21 年 10 月 5 日	SOFC-XI	Phase Transformation of ScSZ by Reduction of NiO-ScSZ Mixture	岸本治夫、吉永昌史、山地克彦、M. E. Brito、堀田照久、横川晴美
28	平成 21 年 10 月 5 日	SOFC-XI	Effects of Impurities Contained in Coal-Derived Syngas on the Performance of SOFCs	倉本浩司、鈴木善三、岸本治夫、山地克彦、堀田照久、熊岳平、M. E. Brito、横川晴美
29	平成 21 年 10 月 5 日	SOFC-XI	Effect of SO <sub>2</sub> Concentration on Degradation of Sm <sub>0.5</sub> Sr <sub>0.5</sub> Co <sub>03</sub> Cathode	山地克彦、熊岳平、吉永昌史、岸本治夫、M. E. Brito、堀田照久、横川晴美、秋草順、川野光伸
30	平成 21 年 10 月 26 日	MS&T09	Thermal cycling effects on oxide scales formation of Fe-Cr alloys for SOFCs	堀田照久、吉永昌史、岸本治夫、山地克彦、熊岳平、M. E. Brito、横川晴美
31	平成 21 年 11 月 5 日	CCT&FCS-2009	Anode Degradation Behaviour in Hydrocarbon Fuelled SOFCs	岸本治夫、山地克彦、M. E. Brito、堀田照久、横川晴美
32	平成 21 年 11 月 16 日	2009 Fuel Cell Seminar & Exposition	Effects of Impurities on the Degradation of SOFC Stacks	堀田照久、岸本治夫、山地克彦、M. E. Brito、横川晴美
33	平成 21 年 12 月 7 日	第 3 5 回固体イオニクス討論会	純セリアの電子伝導特性	岸本治夫、熊岳平、山地克彦、M. E. Brito、堀田照久、横川晴美
34	平成 21 年 12 月 7 日	第 3 5 回固体イオニクス討論会	SOFC 空気極における Cr 被毒解析：Cr 蓄積分布と電極材料・過電圧	堀田照久、趙度衡、出来学、岸本治夫、山地 克彦、M. E. Brito、横川晴美
35	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会	不純物が影響した劣化の解析と SOFC 耐久性の評価	堀田照久、山地克彦、岸本治夫、M. E. Brito、横川晴美、趙度衡、出来学
36	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会	石炭ガス化ガス利用型 SOFC 発電システムを目指した基礎的調査研究	倉本浩司、松岡浩一、福島登志代、鈴木善三、岸本治夫、山地克彦、M. E. Brito、趙度衡、堀田照久、横川晴美、義家亮、成瀬一郎、隈部和弘、守富寛
37	平成 22 年 2 月 14 日	TMS2010	Coating of Dense Oxide Layer on the Fe-Cr Alloys for Interconnects	堀田照久、岸本治夫、山地克彦、M. E. Brito、横川晴美
38	平成 22 年 2 月 23 日	第 79 回 SOFC 研究会	SOFC における熱力学的解析	山地克彦
39	平成 22 年 3 月 3 日	FC-EXPO2010 アカデミックフォーラム	産総研における SOFC 耐久性・信頼性向上のための基礎研究	堀田照久
40	平成 22 年 3 月 25 日	239th Americal Chemical Society National Meeting	Effect of Impurities on the Degradation of Solid Oxide Fuel Cells by SIMS Technique	堀田照久、岸本治夫、山地克彦、M. E. Brito、横川晴美
41	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学第 7 7 回大会	ニッケルサーメット中の安定化ジルコニアの相変態	岸本治夫、吉永昌史、山地克彦、M. E. Brito、下之蘭太郎、趙度衡、出来学、堀田照久、横川晴美
42	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学第 7 7 回大会	SSC カソードの SO <sub>2</sub> 被毒：温度依存性に関する検討	山地 克彦、岸本治夫、堀田照久、横川 晴美、秋草 順、川野光伸
43	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学第 7 7 回大会	SOFC 空気極における Cr 被毒現象	趙度衡、堀田照久、岸本治夫、山地克彦、M. E. Brito、下之蘭太郎、出来学、吉永昌史、横川晴美

44	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学第 7 7 回大会	PLD 法で作製したセリア/ 空気極の界面安定性およびカチオン拡散	出来学, M. E. Brito, 山地克彦, 岸本治夫, 吉永昌史, 趙度衡, 下之藺太郎, 堀田照久, 横川晴美
45	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学第 7 7 回大会	SOFC 用金属インターコネクトのコーティングと安定性	堀田照久, 岸本治夫, 山地克彦, M. E. Brito, 横川晴美, 吉永昌史, 趙度衡, 出来学, 下之藺太郎
46	平成 22 年 5 月 19 日	第 1 7 回燃料電池シンポジウム	産総研における SOFC 信頼性・耐久性向上に関する基礎研究	岸本治夫, 山地克彦, M. E. Brito, 趙度衡, 下之藺太郎, 出来学, 堀田照久, 横川晴美
47	平成 22 年 6 月 15 日	ASME Fuel Cells2010	COATING OF SOFC METALLIC INTERCONNECTS AND THEIR OXYGEN DIFFUSIVITY	堀田照久, 岸本治夫, 山地克彦, M. E. Brito, 横川晴美, 吉永昌史, 趙度衡, 出来学, 下之藺太郎
48	平成 22 年 6 月 17 日	CIMTEC 2010	Feasibility of liquid fuels for SOFC with Ni-base Anode	岸本治夫, 山地克彦, M. E. Brito, 堀田照久, 横川晴美
49	平成 22 年 6 月 21 日	4th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics	Electronic Conductivity of Scandia-stabilized Zirconia	下之藺太郎, 岸本治夫, 山地克彦, 趙度衡, 出来学, M. E. Brito, 堀田照久, 横川晴美
50	平成 22 年 6 月 29 日	European SOFC Forum	Interfacial Stability and Cation Diffusion across the LSCF/GDC Interface	出来学, M. E. Brito, 山地克彦, 岸本治夫, 吉永昌史, 趙度衡, 下之藺太郎, 堀田照久, 横川晴美
51	平成 22 年 6 月 29 日	European SOFC Forum	General Considerations on Degradation of SOFC Anodes and Cathodes Due to Impurities in Gases	横川晴美, 山地克彦, M. E. Brito, 岸本治夫, 堀田照久
52	平成 22 年 7 月 9 日	学振第 1 2 3 委員会	固体酸化物形燃料電池の材料化学-金属材料を中心にして-	横川 晴美
53	平成 22 年 8 月 24 日	IUMRS-ICEM2010	Degradation of SOFC Materials by Impurities	堀田 照久
54	平成 22 年 9 月 2 日	2010 年電気化学秋季大会	LSCF と希土類含有セリア界面での拡散現象	出来学, M. E. Brito, 山地克彦, 岸本治夫, 下之藺太郎, 堀田照久, 横川晴美
55	平成 22 年 9 月 2 日	2010 年電気化学秋季大会	SOFC における空気極材料の Cr 蒸気による劣化現象	趙度衡, 堀田照久, 岸本治夫, 山地克彦, M. E. Brito, 下之藺太郎, 出来学, 王芳芳, 横川晴美
56	平成 22 年 9 月 6 日	Asian SOFC Symposium	Electronic Conductivity of Scandia-stabilized Zirconia	下之藺太郎, 岸本治夫, 山地克彦, 趙度衡, 出来学, M. E. Brito, 横川晴美
57	平成 22 年 9 月 6 日	Asian SOFC Symposium	Poisoning of SSC cathode by SO <sub>2</sub> . -Effect of operation temperature-	山地克彦, 岸本治夫, 堀田照久, 横川晴美, 秋草順, 川野光伸
58	平成 22 年 9 月 6 日	Asia SOFC Symposium	Lanthanum and Strontium Diffusion into GDC	出来学, M. E. Brito, 山地克彦, 岸本治夫, 下之藺太郎, 堀田照久, 横川晴美
59	平成 22 年 9 月 6 日	Asian SOFC Symposium	Carbon Deposition Behavior on Nickel Analyzed by Micro Raman Spectroscopy	岸本治夫, 吉永昌史, M. E. Brito, 山地克彦, 堀田照久, 横川晴美
60	平成 22 年 9 月 6 日	Asian SOFC Symposium	Imaging of Oxygen Diffusion in Flatten Tube Stacks	堀田照久, 下之藺太郎, 岸本治夫, 山地克彦, M. E. Brito, 横川晴美
61	平成 22 年 9 月 29 日	9th Liege Conference on Materials for Advanced Power Engineering	RECENT ACTIVITIES OF SOFC RESEARCH DEVELOPMENT AND DEMONSTRATION IN JAPAN	横川晴美
62	平成 22 年 10 月 8 日	International Workshop on EEWS 2010 Program: Creating New Industries with EEWS	Recent Development of SOFCs in Japan	横川晴美

63	平成 22 年 10 月 19 日	2010 Fuel cell seminar & exposition	Acceleration Test on SO <sub>2</sub> Poisoning of Sm <sub>0.5</sub> Sr <sub>0.5</sub> Co <sub>3</sub> Cathode	山地 克彦, 岸本 治夫, 堀田 照久, 横川 晴美, 秋草順, 川野 光伸
64	平成 22 年 10 月 19 日	2010 Fuel Cell Seminar	Degradation and Durability of SOFC Materials by Impurities	堀田 照久, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 横川 晴美
65	平成 22 年 11 月 15 日	7th Japan-Thailand Collaboration Workshop	Current Status on Developments and Durability of Solid Oxide Fuel Cells at AIST	堀田 照久
66	平成 22 年 11 月 16 日	第 32 回 SOFC 研究会	FUEL CELL SEMINAR & EXPOSITION 2010 報告 材料関連 2	山地 克彦
67	平成 22 年 11 月 16 日	Clean Energy Technology 2010 (6th International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells)	Degradation study of SOFCs by Micro Raman Spectroscopy	岸本 治夫, 下之蘭 太郎, 山地 克彦, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
68	平成 22 年 11 月 25 日	第 36 回固体イオニクス討論会	Sulfur Poisoning on LSCF Cathode	王 芳芳, 山地 克彦, 出来 学, 趙 度衡, 下之蘭 太郎, 岸本 治夫, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
69	平成 22 年 11 月 25 日	第 36 回固体イオニクス討論会	SOFC スタック空気極における酸素イオン化反応の可視化	堀田 照久, 下之蘭 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 横川 晴美
70	平成 22 年 11 月 26 日	第 36 回固体イオニクス討論会	スカンジウム安定化ジルコニアの SOFC 電解質としての安定性に及ぼす Mn 添加の影響	山地 克彦, 岸本 治夫, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美, 島津めぐみ, 樋渡研一, 川田 達也, 八代 圭司, 水崎純一郎
71	平成 22 年 11 月 26 日	第 36 回固体イオニクス討論会	スカンジウム安定化ジルコニアの電子伝導度	下之蘭 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, 趙 度衡, 出来 学, 王 芳芳, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
72	平成 22 年 11 月 26 日	第 36 回固体イオニクス討論会	Ni 表面での炭素析出に対する基板酸化物の影響	岸本 治夫, 吉永 昌史, 山地 克彦, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
73	平成 22 年 12 月 2 日	エネルギー技術シンポジウム 2010	固体酸化物形燃料電池の耐久性・信頼性向上に関する基礎研究	岸本 治夫, 下之蘭 太郎, 山地 克彦, M. E. Brito, 堀田 照久
74	平成 22 年 12 月 6 日	第 19 回 SOFC 研究発表会	円筒筒形空気極材料の劣化現象に関する集学的検討	横川 晴美, 堀田 照久, 山地 克彦, 岸本 治夫, 渡辺隆夫, 山本 融, 江口浩一, 松井敏明, 佐々木一成, 白鳥佑介, 川田達也, 佐藤一永, 橋田俊之, 宇根本篤, 加幡達雄, 富田和男
75	平成 22 年 12 月 16 日	第 19 回 SOFC 研究発表会	微細構造が異なる LSCF/GDC のカチオン拡散	出来 学, M. E. Brito, 山地 克彦, 岸本 治夫, 下之蘭 太郎, 趙 度衡, 王 芳芳, 堀田 照久, 横川 晴美
76	平成 22 年 12 月 16 日	第 19 回 SOFC 研究発表会	耐久性・信頼性向上に関する基礎研究—中間評価を終えて	横川 晴美
77	平成 22 年 12 月 16 日	第 19 回 SOFC 研究発表会	熱力学的解析による SOFC の劣化機構解明	堀田 照久, 下之蘭 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 趙 度衡, 出来 学, 横川 晴美
78	平成 22 年 12 月 17 日	第 19 回 SOFC 研究発表会	SOFC 空気極材料の Cr 被毒による劣化過程における Cr 蓄積分布と電極性能の変化	趙 度衡, 堀田 照久, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 下之蘭 太郎, 出来 学, 王 芳芳, 横川 晴美
79	平成 22 年 12 月 20 日	第 20 回日本 MRS 学術シンポジウム	Microstructural Aspects in Cation Inter-diffusion Across the LSCG/GDC Interface	出来 学, M. E. Brito, 山地 克彦, 岸本 治夫, 下之蘭 太郎, 堀田 照久, 横川 晴美

80	平成 22 年 12 月 20 日	第 20 回日本 MRS 学術シンポジウム	Fuel Flexibility for Solid Oxide Fuel Cells with Nickel Base Anode	岸本 治夫, 下之藺 太郎, 山地 克彦, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
81	平成 23 年 1 月 14 日	平成 22 年度静岡県環境創出事業セミナー	固体酸化物形燃料電池の開発状況と耐久性	堀田 照久
82	平成 23 年 1 月 26 日	35th International Conference and Exposition on Advanced Ceramics and Composites	Influence of Ce or Y Doping on the Electronic Conductivity of Scandia-stabilized Zirconia	下之藺 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 横川 晴美, 堀田 照久
83	平成 23 年 1 月 27 日	11' ICACC	Imaging of Oxygen Ionization and Diffusion in Flatten Tube Stacks	堀田 照久, 下之藺 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 横川 晴美
84	平成 23 年 2 月 17 日	2nd international workshop on fuel cell development and application	Current Status of SOFC System and Stack Developments in Japan and Research Activities of AIST	堀田 照久
85	平成 23 年 2 月 28 日	TMS2011	Materials Challenges for Solid Oxide Fuel Cells	堀田 照久
86	平成 23 年 3 月 1 日	TMS2011	Chromium Poisoning and Degradation of Cathodes for Solid Oxide Fuel Cells	趙 度衡, 下之藺 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
87	平成 23 年 3 月 4 日	FC EXPO FC アカデミックフォーラム	SOFC の耐久性・信頼性評価	岸本 治夫, 下之藺 太郎, M. E. Brito, 山地 克彦, 堀田 照久
88	平成 23 年 3 月 16 日	日本セラミックス協会 2011 年年会	SOFC 運転下における Sc2O3-CeO2 ドープ ZrO2 の安定性に及ぼす不純物の影響	島津めぐみ, 樋渡研一, 上野 晃, 山地 克彦, 岸本 治夫, 横川 晴美, 東工大院, 岡田清
89	平成 23 年 3 月 29 日	電気化学会第 78 回大会	YSZ 及び TiO2 を添加した YSZ 基板上でのニッケルの凝集挙動	鈴木 晶人, 岸本 治夫, 下之藺 太郎, M. E. Brito, 山地 克彦, 堀田 照久, 宗像 文男, 横川 晴美
90	平成 23 年 3 月 30 日	電気化学会第 78 回大会	空気極/希土類含有セリアの界面安定性	出来 学, M. E. Brito, 山地 克彦, 岸本 治夫, 下之藺 太郎, 趙 度衡, 王 芳芳, 堀田 照久, 横川 晴美
91	平成 23 年 3 月 30 日	電気化学会第 78 回大会	ニッケルが固溶した安定化ジルコニアにおける電気伝導度の劣化現象	下之藺 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, 趙 度衡, 出来 学, 王 芳芳, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
92	平成 23 年 3 月 30 日	電気化学会第 78 回大会	Sulfur Poisoning on La0.6Sr0.4Co0.2Fe0.8Ox and La0.8Sr0.2Co0.2Fe0.8Ox Cathodes	王 芳芳, 山地 克彦, 出来 学, 趙 度衡, 下之藺 太郎, 岸本 治夫, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
93	平成 23 年 3 月 30 日	電気化学会第 78 回大会	(La, Sr)MnO3 空気極内部に蓄積された Cr の定量と電極性能	趙 度衡, 堀田 照久, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 下之藺 太郎, 出来 学, 王 芳芳, 横川 晴美
94	平成 23 年 3 月 31 日	第 78 回電気化学大会	SIMS で見た固体酸化物形燃料電池 (SOFC) 反応の解析: 酸素のイオン化・拡散と不純物による劣化	堀田 照久
95	平成 23 年 4 月 6 日	International Fuel Cell Forum 2011	Developments of SOFC Technology in Japan: Durability and Reliability	堀田 照久
96	平成 23 年 4 月 7 日	1st Workshop on Stability and Degradation of Functional Materials under Thermodynamic Forces	Degradation of SOFC Cell/Stack Performance in Relation to Materials Deterioration	横川 晴美
97	平成 23 年 5 月 1 日	IEA SOFC annex annual meeting	Recent activities of SOFC RD&D in Japan	横川 晴美

98	平成 23 年 5 月 2 日	SOFC-XII	Effect of Polarization on Platinum Deposition at LSM/YSZ Interfaces	山地 克彦, 下之蘭 太郎, 岸本 治夫, M. E. Brito, 王 芳芳, 趙 度衡, 堀田 照久, 横川 晴美
99	平成 23 年 5 月 2 日	SOFC XII	Cooperative Investigations on Degradation of Cathode Materials in Segment-in-Series Cells by MHI	横川 晴美, 岸本 治夫, 山地 克彦, 堀田 照久, 渡辺隆夫, 山本 融, 江口 浩一, 松井敏明, 佐々木一成, 白鳥佑介, 川田達也, 佐藤一永, 橋田俊之, 宇根本篤, 加幡達雄, 富田和男
100	平成 23 年 5 月 2 日	Solid Oxide Fuel Cells XII (SOFC-XII)	Microstructural Aspects of Cation Inter-diffusion Across the LSCF/GDC Interface	M. E. Brito, 出来 学, 山地 克彦, 岸本 治夫, 下之蘭 太郎, 堀田 照久, 横川 晴美
101	平成 23 年 5 月 3 日	SOFC XII	Current Status of NEDO Project on Durability/Reliability of Solid Oxide Fuel Cell Stacks/Systems	横川 晴美
102	平成 23 年 5 月 3 日	Solid Oxide Fuel Cells XII (219th ECS Meeting)	Phase Transformation of Stabilized Zirconia in SOFC Stacks	岸本 治夫, 下之蘭 太郎, 山地 克彦, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
103	平成 23 年 5 月 3 日	219thECS meeting (SOFC-XII)	Accelerated Degradation by Impurities for Evaluating Life Time of SOFCs	堀田 照久, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 下之蘭 太郎, 趙 度衡, 王芳芳, 横川 晴美
104	平成 23 年 5 月 4 日	219thECS Meeting (SOFC-XII)	Imaging of Oxide Ionic Flows at Practical SOFC Cells by Isotope Labeling Technique	堀田 照久, 下之蘭 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 横川 晴美
105	平成 23 年 5 月 17 日	第 18 回燃料電池シンポジウム	耐久性・信頼性向上に関する基礎研究について最近の成果	横川 晴美
106	平成 23 年 5 月 18 日	第 18 回燃料電池シンポジウム	産総研における SOFC 信頼性・耐久性向上に関する基礎研究	山地 克彦, 岸本 治夫, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美, 王芳芳, 趙 度衡, 下之蘭 太郎
107	平成 23 年 5 月 18 日	第 18 回燃料電池シンポジウム	SOFC 材料の不純物に対する耐久性の検討—LSCF 空気極での硫黄被毒現象	王 芳芳, 山地 克彦, 趙 度衡, 下之蘭 太郎, 岸本 治夫, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
108	平成 23 年 7 月 3 日	the 18th International Conference on Solid State Ionics	Correlation Between Degradation of Cathode Performance and Chromium concentration in the (La, Sr)MnO <sub>3</sub> Cathode	趙 度衡, 堀田 照久, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 下之蘭 太郎, 王 芳芳, 横川 晴美
109	平成 23 年 7 月 3 日	International Conference on Solid State Ionics	EFFECT OF STRONTIUM CONCENTRATION ON SULFUR POISONING OF LSCF CATHODES	王 芳芳, 山地 克彦, 趙 度衡, 下之蘭 太郎, 岸本 治夫, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
110	平成 23 年 7 月 4 日	International conference on solid state ionics	Thermodynamic and SIMS analyses on Materials Compatibility and Electrochemical Processes in Solid Oxide Fuel Cells	横川 晴美
111	平成 23 年 7 月 5 日	18th Conference on Solid State Ionics	Electronic Conductivity of Ni-doped Yttria-Stabilized Zirconia	下之蘭 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
112	平成 23 年 7 月 5 日	18th International Conference on Solid State Ionics (SSI-18)	EFFECT OF MN-DOPING ON STABILITY OF SCANDIA STABILIZED ZIRCONIA ELECTROLYTE UNDER DUAL ATMOSPHERE OF SOLID OXIDE FUEL CELLS	山地 克彦, 岸本 治夫, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美, 島津めぐみ, 八代圭司, 川田達也, 水崎純一郎
113	平成 23 年 7 月 5 日	18th International Conference on Solid State Ionics	Agglomeration Behavior of Nickel Particles on YSZ Electrolyte	岸本 治夫, 鈴木 晶人, 下之蘭 太郎, M. E. Brito, 山地 克彦, 堀田照久, 宗像文男, 横川晴美

114	平成 23 年 7 月 5 日	18th International Conference on Solid State ionics	A COMPARISON OF CATION INTER-DIFFUSION BEHAVIOR IN THE LSM/ScSZ AND LSM/YSZ SYSTEMS	M. E. Brito, 岸本 治夫, 山地 克彦, 堀田 照久, 横川 晴美
115	平成 23 年 7 月 5 日	18th International Conference on Solid State ionics	ANALYTICAL-TEM STUDY OF ACCELERATED DEGRADATION OF A ScSZ ELECTROLYTE IN CONTACT WITH MANGANESE DIOXIDE	M. E. Brito, 山地 克彦, 岸本 治夫, 堀田 照久, 横川 晴美, 島津めぐみ, 樋渡研一, 八代圭 司, 川田達也, 水崎純一郎
116	平成 23 年 7 月 6 日	18th International Conference on Solid State Ionics	Oxygen Ionization and Diffusion at SOFC Cathode/ Electrolyte Interface under Cathodic Polarization	堀田 照久, 下之蘭 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 横川 晴美
117	平成 23 年 7 月 7 日	18th International Conference on Solid State ionics	Phase Transformation Related Electric Conductivity Degradation of NiO Doped YSZ	下之蘭 太郎, 岸本 治夫, M. E. Brito, 山地 克彦, 堀田 照久, 横川 晴美
118	平成 23 年 7 月 8 日	18th International Conference on Solid State Ionics	Correlation between Degradation of Cathode Performance and Chromium Concentration in (La, Sr)MnO <sub>3</sub> Cathode	堀田 照久, 趙 度衡, 下之蘭 太郎, 王 芳芳, 岸本 治夫, 山 地 克彦, M. E. Brito, 横川 晴 美
119	平成 23 年 9 月 4 日	第 7 回固体イオニクスセミナ ー	安定化ジルコニアにおける伝 導度低下と相変態~in-situ ラ マン分光法による関連性の評 価~	岸本 治夫
120	平成 23 年 9 月 9 日	2011 年 電気化学秋季大会	Mass Transport Behavior in the LSCF/GDC/YSZ System	王 芳芳, M. E. Brito, 山地 克 彦, 趙 度衡, 下之蘭 太郎, 西 美奈, 岸本 治夫, 堀田 照久, 横川 晴美
121	平成 23 年 9 月 9 日	2011 年電気化学秋季大会	Cr 被毒による SOFC 空気極性能 低下と Cr 蓄積量の関係	趙 度衡, 堀田 照久, 岸本 治 夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 下 之蘭 太郎, 西 美奈, 王 芳芳, 横川 晴美
122	平成 23 年 9 月 9 日	2011 年電気化学秋季大会	ニッケルが固溶したイットリ ア安定化ジルコニア電解質に おける燃料電池作動条件下で の電気伝導度の低下	下之蘭 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, 趙 度衡, 王 芳芳, 西 美 奈, M. E. Brito, 堀田 照久, 横 川 晴美
123	平成 23 年 9 月 9 日	2011 電気化学秋季大会	実用 SOFC セルにおける酸素イ オンの可視化	堀田 照久, 西 美奈, 下之蘭 太郎, 岸本 治夫, 山地 克 彦, M. E. Brito, 横川 晴美, 趙 度衡, 王 芳芳
124	平成 23 年 9 月 13 日	62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry	Impact of P(SO <sub>2</sub> ) on Electrode Performance for La <sub>0.8</sub> Sr <sub>0.2</sub> Co <sub>0.2</sub> Fe <sub>0.8</sub> O <sub>3</sub> Cathode	王 芳芳, 山地 克彦, 趙 度衡, 下之蘭 太郎, 西 美奈, 岸本 治夫, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
125	平成 23 年 9 月 13 日	62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry	Degradation of the Electrical Conductivity of Ni-doped Ytria-Stabilized Zirconia Electrolyte under the Operating Condition of Solid Oxide Fuel Cell Effect of Electrical Loading	下之蘭 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, 趙 度衡, 王 芳芳, 西 美 奈, M. E. Brito, 堀田 照久, 横 川 晴美
126	平成 23 年 9 月 13 日	62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry	In-situ Analysis on the Electrical Conductivity Degradation of NiO Doped YSZ Electrolyte by Micro-Raman Spectroscopy	岸本 治夫, 八代 圭司, 下之 蘭 太郎, M. E. Brito, 山地 克 彦, 堀田 照久, 横川 晴美, 水 崎 純一郎

127	平成 23 年 9 月 13 日	62nd Annual Meeting of ISE	Imaging of Oxide Ionic Diffusions at Cathode/Electrolyte Interfaces in Solid Oxide Fuel Cells	堀田 照久, 下之藺 太郎, 趙 度衡, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 横川 晴美
128	平成 23 年 9 月 21 日	Second International Workshop on Degradation Issues in Fuel Cells	Overview of SOFC Degradation	横川 晴美
129	平成 23 年 9 月 22 日	2nd International Workshop on Degradation Issues of Fuel Cells	Degradation Mechanism by Impurities in Air at SOFC Cathodes	堀田 照久, 趙 度衡, 王 芳芳, 西 美奈, 下之藺 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 横川 晴美
130	平成 23 年 11 月 2 日	Fuel Cell Smeinar 2011	Degradation Mechanism with Impurities and Life Estimation for SOFCs	堀田 照久, 趙 度衡, 王 芳芳, 西 美奈, 下之藺 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 横川 晴美
131	平成 23 年 11 月 9 日	7th International Co Cellsnference on Clean Coal Technology and Fuel	Recent studies on durability and reliability of SOFCs at AIST	山地 克彦, 西 美奈, 下之藺 太郎, 王 芳芳, 趙 度衡, 岸本 治夫, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
132	平成 23 年 11 月 10 日	International Symposium on Fuel Cell Technology	SOFC technology progress in Japan and contribution of AIST	堀田 照久
133	平成 23 年 11 月 11 日	International Symposium on Solid Oxide Fuel Cell Technology	ON THE DIFFUSION PATH OF STRONTIUM IN THE INTERFACIAL REACTIONS BETWEEN LSCF AND ELECTROLYTE MATERIALS	王 芳芳, M. E. Brito, 山地 克彦, 岸本 治夫, 堀田 照久, 横川 晴美
134	平成 23 年 11 月 18 日	第 2 回 つくばイノベーションフォーラム	固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の耐久性向上と反応機構解析	堀田 照久
135	平成 23 年 11 月 30 日	2011 MRS Fall Meeting & Exhibit	Phase Transformation Related Conductivity Degradation of NiO Doped YSZ: An In-situ Micro-Raman Analysis	岸本 治夫, 八代 圭司, 下之藺 太郎, M. E. Brito, 山地 克彦, 堀田 照久, 横川 晴美, 水崎 純一郎
136	平成 23 年 12 月 9 日	第 37 回固体イオニクス討論会	ニッケルが固溶したイットリア安定化ジルコニア電解質における燃料電池作動条件下での微構造変化、相変態及び電気伝導度低下の関係	下之藺 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, 趙 度衡, 王 芳芳, 西 美奈, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
137	平成 23 年 12 月 9 日	触媒学会つくば地区講演会	固体酸化物形燃料電池 (SOFC) 劣化機構と解析技術	堀田 照久
138	平成 23 年 12 月 9 日	第 37 回固体イオニクス討論会	Sulfur Poisoning of SOFC Cathodes (II)----- Effect of sulfur concentration on the LSCF6428 cathode performance	王 芳芳, 山地 克彦, 趙 度衡, 下之藺 太郎, 西 美奈, 岸本 治夫, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
139	平成 23 年 12 月 12 日	第 20 回 SOFC 研究発表会	Assessing the role of the GDC interlayer in SOFCs	王 芳芳, M. E. Brito, 山地 克彦, 趙 度衡, 下之藺 太郎, 西 美奈, 岸本 治夫, 堀田 照久, 横川 晴美
140	平成 23 年 12 月 13 日	エネルギー技術シンポジウム 2011	SOFC 作動環境下における物質移動、表面状態変化の検出	岸本 治夫, 西 美奈, 下之藺 太郎, 山地 克彦, M. E. Brito, 堀田 照久
141	平成 23 年 12 月 13 日	第 20 回 SOFC 研究発表会	熱力学的解析による SOFC の劣化機構解明	堀田 照久, 西 美奈, 下之藺 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 横川 晴美, 趙 度衡, 王 芳芳
142	平成 23 年 12 月 13 日	第 20 回 SOFC 研究発表会	不純物被毒における要因分析と個別被毒毎の特徴	横川 晴美, 堀田 照久, 山地 克彦, 岸本 治夫, M. E. Brito, 西 美奈, 下之藺 太郎, 王 芳芳, 趙 度衡

143	平成 23 年 12 月 19 日	21st Academic Symposium of MRS-Japan 2011	“Ceramic Dusting” of a ScCeSZ Electrolyte in Contact with Manganese Dioxide	M. E. Brito, 松田潤子, 山地 克彦, 岸本 治夫, 堀田 照久, 横川 晴美
144	平成 23 年 12 月 19 日	第 21 回日本 MRS 学術シン ポジウム	Electrical Conductivity Degradation of Ni-Doped Yttria-Stabilized Zirconia Electrolyte under SOFC Condition	下之藺 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, 趙 度衡, 王 芳芳, 西 美 奈, M. E. Brito, 堀田 照久, 横 川 晴美
145	平成 23 年 12 月 20 日	第 21 回日本 MRS 学術シンポ ジウム	Investigation of Sr transport behavior in triplet LSCF/10GDC/8YSZ	王 芳芳, M. E. Brito, 山地 克 彦, 趙 度衡, 下之藺 太郎, 西 美奈, 岸本 治夫, 堀田 照久, 横川 晴美
146	平成 24 年 1 月 26 日	燃料電池開発情報センター第 122 回研究会	SOFC の開発 : 世界の潮流と日 本での進展	横川 晴美
147	平成 24 年 2 月 1 日	燃料電池部会・FCH 基盤技術懇 談会 公開シンポジウム	固体酸化物形燃料電池の耐久 性・信頼性について	横川 晴美
148	平成 24 年 3 月 13 日	2012TMS	Relationship between cathode performance and impurity concentration for Solid Oxide Fuel Cells	堀田 照久, 趙 度衡, 王 芳芳, 西 美奈, 下之藺 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 横川 晴美
149	平成 24 年 3 月 27 日	日本化学会第 92 春季年会	固体酸化物形燃料電池の耐久 性向上とその評価方法	堀田 照久
150	平成 24 年 3 月 27 日	第 79 回電気化学大会	2 次イオン質量分析計 (SIMS) を適用した固体酸化物形燃料 電池 (SOFC) 反応の解析	堀田 照久
151	平成 24 年 3 月 29 日	電気化学会第 79 回大会	Sulfur Poisoning Mechanism of La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> Co <sub>0.2</sub> Fe <sub>0.8</sub> O <sub>3</sub> Cathode	王 芳芳, 山地 克彦, 趙 度衡, 下之藺 太郎, 西 美奈, 岸本 治夫, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
152	平成 24 年 3 月 29 日	電気化学会第 79 回大会	(La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> )(Co <sub>0.2</sub> Fe <sub>0.8</sub> )O <sub>3</sub> 空気極における Cr 蒸気と通電 の影響	趙 度衡, 堀田 照久, 岸本 治 夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 下 之藺 太郎, 西 美奈, 王 芳芳, 横川 晴美
153	平成 24 年 3 月 29 日	電気化学会第 79 回大会	SOFC 燃料極雰囲気下における 酸化物基板上でのニッケル凝 集挙動の評価	鈴木 晶人, 岸本 治夫, 下之藺 太郎, 西 美奈, M. E. Brito, 山 地 克彦, 堀田 照久, 宗像文 男, 横川 晴美
154	平成 24 年 3 月 29 日	電気化学会第 79 回大会	SOFC 作動環境下におけるジル コニア電解質の相変態とその 場観察	岸本 治夫, 八代圭司, 下之藺 太郎, 西 美奈, 山地 克彦, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴 美, 水崎純一郎
155	平成 24 年 3 月 29 日	電気化学会第 79 回大会	スカンジウム安定化ジルコニア の電子伝導	下之藺 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, 趙 度衡, 王 芳芳, 西 美 奈, M. E. Brito, 堀田 照久, 横 川 晴美
156	平成 24 年 4 月 11 日	Fuel Cells 2012 Science and Technology	Visualization of oxide ion diffusion at the SOFC cathode/interlayer/electroly te interfaces	堀田 照久, 趙 度衡, 下之藺 太郎, 岸本 治夫, 山地 克 彦, M. E. Brito, 横川 晴美
157	平成 24 年 4 月 11 日	Fuel Cells 2012 Science & Technology	Electrochemical Performance of (La <sub>0.3</sub> Sr <sub>0.7</sub> )TiO <sub>3</sub> - Gd <sub>0.1</sub> Ce <sub>0.9</sub> O <sub>1.95</sub> Composite Anode	岸本 治夫, 陳 剛, 山地 克彦, 倉本 浩司, 堀田 照久
158	平成 24 年 4 月 25 日	NATO ASI Seminar Ceramic Fuel Cells	Interaction of Ni Anode with Coal Syngas	横川 晴美, 堀田 照久, 山地 克彦, 岸本 治夫, 西 美奈, 下 之藺 太郎
159	平成 24 年 4 月 27 日	NATO ASI Seminar on Ceramic Fuel Cells	Electrode Three Phase Boundary Reactions and Impurities	横川 晴美, 堀田 照久, 山地 克彦, 岸本 治夫, 西 美奈, 下 之藺 太郎

160	平成 24 年 5 月 8 日	221st ECS Meeting	Electronic Conductivity of Scandia-Stabilized Zirconia Doped with 1 mol% CeO <sub>2</sub>	下之藺 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, 西 美奈, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
161	平成 24 年 5 月 8 日	221st ECS Meeting	Oxide ion conductivity of LaNi <sub>0.6</sub> Fe <sub>0.4</sub> O <sub>3</sub>	西 美奈, 堀田 照久, 山地 克彦, 横川 晴美, 下之藺 太郎, 岸本 治夫, M. E. Brito, 趙 度衡, 王 芳芳
162	平成 24 年 5 月 16 日	E-MRS 2012 SPRING MEETING	Bulk Diffusion Across the LSCF/GDC Interface: Microstructural Aspects	M. E. Brito, 山地 克彦, 伊藤 英彬, 雨澤浩史, 岸本 治夫, 堀田 照久, 川田達也, 横川 晴美
163	平成 24 年 5 月 16 日	第 19 回燃料電池シンポジウム	耐久性・信頼性向上に関する基礎研究について最近の成果	横川 晴美
164	平成 24 年 5 月 16 日	第 19 回燃料電池シンポジウム	熱力学的解析による SOFC 劣化機構の解明と耐久性向上	堀田 照久, 西 美奈, 下之藺 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 横川 晴美, 趙 度衡, 王 芳芳
165	平成 24 年 5 月 22 日	CMCEE	Thermodynamic Considerations on Interface Stability under SOFC and SOEC Environments	横川 晴美, 堀田 照久, 山地 克彦, 岸本 治夫, M. E. Brito
166	平成 24 年 5 月 22 日	10th International Symposium on Ceramic Materials and Components for Energy and Environmental Applications	Improvements of Durability and New Analytical Techniques for Reaction Mechanism in Solid Oxide Fuel Cells (SOFCs)	堀田 照久, 西 美奈, 下之藺 太郎, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 横川 晴美, 趙 度衡, 王 芳芳
167	平成 24 年 6 月 15 日	第 15 回 E&E フォーラム	空気極/電解質におけるカチオン拡散挙動	王 芳芳, M. E. Brito, 山地 克彦, 下之藺 太郎, 西 美奈, 趙 度衡, 陳 剛, 岸本 治夫, 堀田 照久, 横川 晴美
168	平成 24 年 6 月 26 日	第 31 回 FC 懇談会	SOFC の開発動向と基盤研究開発	堀田 照久
169	平成 24 年 6 月 27 日	10th European SOFC Forum	Chromium Poisoning Mechanism of (La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> )(Co <sub>0.2</sub> Fe <sub>0.8</sub> )O <sub>3</sub> Cathode	趙 度衡, 堀田 照久, 岸本 治夫, 山地 克彦, M. E. Brito, 下之藺 太郎, 西 美奈, 王 芳芳, 横川 晴美
170	平成 24 年 6 月 28 日	10th European SOFC Forum	Evaluation of Sulfur Dioxide Poisoning for LSCF Cathodes	王 芳芳, 山地 克彦, 趙 度衡, 下之藺 太郎, 西 美奈, 岸本 治夫, M. E. Brito, 堀田 照久, 横川 晴美
171	平成 24 年 6 月 28 日	10th European SOFC Forum	Cation Diffusion Behavior in the LSCF/GDC/YSZ System	王 芳芳, M. E. Brito, 山地 克彦, 下之藺 太郎, 西 美奈, 趙 度衡, 岸本 治夫, 堀田 照久, 横川 晴美
172	平成 24 年 6 月 28 日	10th European SOFC Forum	LaNi <sub>0.6</sub> Fe <sub>0.4</sub> O <sub>3</sub> cathode performance on Ce <sub>0.9</sub> Gd <sub>0.1</sub> O <sub>2</sub> electrolyte	西 美奈, 山地 克彦, 横川 晴美, 下之藺 太郎, 岸本 治夫, M. E. Brito, 趙 度衡, 王 芳芳, 堀田 照久
173	平成 24 年 6 月 28 日	12th European SOFC Forum	Chromium Poisoning of LaMnO <sub>3</sub> -based Cathode within Generalized Approach	横川 晴美
174	平成 24 年 7 月 20 日	The 13th Asian Conference on Solid State Ionics	MATERIALS SCIENCE VIEWPOINT FOR RECENT DEVELOPMENT OF SOLID OXIDE FUEL CELLS	横川 晴美

—論文—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 7 月 1 日	Proceedings of 8th European SOFC Forum	Oxygen Diffusivity in Oxide Scales of Fe-Cr Alloy Interconnects	堀田 照久, 岸本 治夫, 山地 克彦, 熊 岳平, M. E. Brito, 横川 晴美, 馬場好孝, 小笠原 慶, 亀田治邦, 松崎良雄, 山下 敏, 安田信隆, 上原利弘

2	平成 20 年 7 月 1 日	Proceedings of 8th European Solid Oxide Fuel Cell Forum	Effect of Contamination on the Durability of SOFC Stacks and Modules in Real Operation Condition	横川 晴美、堀田 照久、山地 克彦、岸本 治夫、熊 岳平、 M. E. Brito
3	平成 20 年 7 月 1 日	Proceedings of 8th European Solid Oxide Fuel Cell Forum	Stability of the Ni-base Anode for Hydrocarbon Fuels Containing Sulfur	岸本 治夫、山地 克彦、堀田 照久、熊 岳平、M. E. Brito、 横川 晴美
4	平成 20 年 7 月 1 日	INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY	Anomalous Oxidation of Ferritic Interconnects in Solid Oxide Fuel Cells	堀田 照久、岸本 治夫、山地 克彦、酒井 夏子、熊 岳平、 M. E. Brito、横川 晴美
5	平成 20 年 8 月 1 日	Solid State Ionics	Interface reaction and cation transport behavior between perovskite oxides of $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ and $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{FeO}_3$	岸本 治夫、酒井 夏子、堀田 照久、山地 克彦、M. E. Brito、 横川 晴美
6	平成 20 年 10 月 1 日	Solid State Ionics	Rapid Phase Transformation of Zirconia in the Ni-ScSZ Cermet Anode under Reducing Condition	岸本 治夫、酒井 夏子、堀田 照久、山地 克彦、熊 岳平、 M. E. Brito、横川晴美
7	平成 20 年 10 月 1 日	INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY	Effects of Si and Al Concentrations in Fe-Cr Alloy on the Formation of Oxide Scales in $\text{H}_2$ - $\text{H}_2\text{O}$	堀田 照久、山地 克彦、横川 晴美、都地昭宏、上原利弘、 小笠原 慶、松崎良雄、山下 敏
8	平成 20 年 10 月 1 日	JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY	Electronic Conductivity of 10 to 40 mol % $\text{YO}_{1.5}$ Doped $\text{CeO}_2$	熊 岳平、山地 克彦、岸本 治 夫、M. E. Brito、堀田 照久、 横川 晴美
9	平成 20 年 12 月 1 日	SOLID STATE IONICS	Diffusion of Oxygen in the Scales of Fe-Cr Alloy Interconnects and Oxide Coating Layer for Solid Oxide Fuel Cells	堀田 照久、山地 克彦、岸本 治夫、熊 岳平、M. E. Brito、 横川 晴美、馬場好孝、小笠原 慶、亀田治邦、松崎良雄、山 下 敏、安田信隆、上原利弘
10	平成 20 年 12 月 1 日	Journal of Mining and Metallurgy	Generalized Ellingham Diagrams for Utilization in Solid Oxide Fuel Cells	岸本 治夫、山地 克彦、M. E. Brito、堀田 照久、横川 晴美
11	平成 21 年 1 月 1 日	JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE	Destabilization of Cubic Stabilized Zirconia Electrolyte Induced by Boron Oxide under Reducing Atmosphere	岸本 治夫、酒井 夏子、山地 克彦、堀田 照久、熊 岳平、 M. E. Brito、横川晴美
12	平成 21 年 1 月 1 日	ELECTROCHEMICAL AND SOLID STATE LETTERS	Deposition of Platinum Particles at LSM/ScSZ/air Three Phase Boundaries Using Platinum Current Collector	熊 岳平、山地 克彦、岸本 治 夫、M. E. Brito、堀田 照久、 横川 晴美
13	平成 21 年 2 月 1 日	ELECTROCHEMISTRY	Reaction Process in the Ni-SDC Cermet Anode	岸本 治夫、山地 克彦、堀田 照久、熊 岳平、M. E. Brito、 吉永 昌史、横川 晴美
14	平成 21 年 5 月 1 日	ECS Transactions	Anode Degradation in SOFC: Fuel Impurity Effects on Nickel	岸本治夫、山地克彦、熊 岳 平、堀田照久、M.E. Brito、 横川晴美
15	平成 21 年 5 月 1 日	ECS Transactions	Evaluation of Impurity Levels in Real SOFC Stacks and Modules	山地克彦、岸本治夫、熊 岳 平、M.E. Brito、堀田照久、横 川晴美
16	平成 21 年 7 月 1 日	JOURNAL OF POWER SOURCES	Effects of impurities on the degradation and long-term stability for Solid Oxide Fuel Cells	堀田照久、岸本治夫、山地克 彦、熊 岳平、M.E. Brito、横 川晴美、堀 雄一、宮地 達
17	平成 21 年 6 月 1 日	JOURNAL OF POWER SOURCES	Anomalous Oxide Scale Formation under Exposure of Sodium Containing Atmospheres for SOFC Alloy Interconnects	堀田照久、岸本治夫、山地克 彦、熊 岳平、M.E. Brito、横 川晴美

18	平成 21 年 10 月 1 日	ELECTROCHEMICAL AND SOLID STATE LETTERS	Determination of Chromium Concentration in Solid Oxide Fuel Cell	堀田照久, 熊岳平, 吉永昌 史, 岸本治夫, 山地克彦, M.E. Brito, 横川晴美
19	平成 21 年 10 月 4 日	ECS Transactions	ACCELERATED DEGRADATION OF SOFC CATHODES BY Cr VAPORS	堀田照久, 熊岳平, 吉永昌 史, 岸本治夫, 山地克彦, M.E. Brito, 横川晴美
20	平成 21 年 10 月 4 日	ECS Transactions	Phase Transformation of ScSZ by Reduction of NiO-ScSZ Mixture	岸本治夫, 吉永昌史, 山地克 彦, M.E. Brito, 堀田照久, 横川晴美
21	平成 21 年 10 月 4 日	ECS Transactions	Effect of SO <sub>2</sub> Concentration on Degradation of Sm <sub>0.5</sub> Sr <sub>0.5</sub> CoO <sub>3</sub>	山地克彦, 熊岳平, 吉永昌 史, 岸本治夫, M.E. Brito, 堀田照久, 横川晴美, 秋草 順, 川野光伸
22	平成 21 年 10 月 4 日	ECS Transactions	Effects of Impurities Contained in Coal-Derived Syngas on the Performance of SOFCs	倉本浩司, 鈴木善三, 岸本治 夫, 山地克彦, 堀田照久, 熊 岳平, M. E. Brito, 横川晴美
23	平成 22 年 1 月 1 日	ELECTROCHEMICAL AND SOLID STATE LETTERS	Electronic Conductivity of CeO <sub>2</sub> : Its Dependence on Oxygen Partial	熊岳平, 岸本治夫, 山地克 彦, 吉永昌史, 堀田照久, M. E. Brito, 横川晴美
24	平成 22 年 4 月 1 日	ECS Transactions	Effects of Impurities on the Degradation of SOFC Stacks	堀田照久, 岸本治夫, 山地克 彦, M.E. Brito, 横川晴美
25	平成 22 年 5 月 1 日	JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY	Chromium Poisoning and Degradation at (La,Sr)MnO <sub>3</sub> and (La,Sr)FeO <sub>3</sub> Cathodes for Solid Oxide Fuel Cells	堀田照久, 熊岳平, 岸本治 夫, 山地克彦, M.E. Brito, 横川晴美
26	平成 22 年 6 月 1 日	JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY	Sulfur Poisoning on SOFC Ni Anodes: Thermodynamic Analyses within Local Equilibrium Anode Reaction Model	岸本治夫, 堀田照久, 山地 克彦, M.E. Brito, 熊岳平, 横川晴美
27	平成 22 年 6 月 14 日	JOURNAL OF FUEL CELL SCIENCE AND TECHNOLOGY	COATING OF SOFC METALLIC INTERCONNECTS AND THEIR OXYGEN DIFFUSIVITY	堀田照久, 岸本治夫, 山地克 彦, M.E. Brito, 横川晴美
28	平成 22 年 6 月 29 日	Proceedings of the European SOFC Forum 2010	Interfacial Stability and Cation Diffusion across the LSCF/GDC Interface	出来学, M.E. Brito, 山地克 彦, 岸本治夫, 吉永昌史, 趙 度衡, 下之藺太郎, 堀田照 久, 横川晴美
29	平成 22 年 6 月 29 日	Proceedings of the European SOFC Forum 2010	General Considerations on Degradation of SOFC Anodes and Cathodes Due to Impurities in Gases	横川晴美、山地克彦、 M.E. Brito、岸本治夫、堀田照 久
30	平成 22 年 12 月 1 日	ELECTROCHEMICAL AND SOLID STATE LETTERS, Vol.13, B135-B138	Visualization of oxygen ionization and flows in Solid Oxide Fuel Cells	堀田照久、下之藺太郎、岸 本治夫、山地克彦、M. E. Brito、横川晴美
31	平成 23 年 1 月 1 日	SOLID STATE IONICS, Vol.182, 120-126	Stability of Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> and CeO <sub>2</sub> co-doped ZrO <sub>2</sub> Electrolyte during the Operation of Solid Oxide Fuel Cells	島津めぐみ、磯部敏宏、安藤 茂、樋渡研一、上野晃、山地 克彦、岸本治夫、横川晴美、 中島章、岡田清
32	平成 23 年 4 月 1 日	ECS Transactions, Vol.30, 115-122	Degradation and Durability of SOFC Materials by the Impurities	堀田照久、岸本治夫、山地 克彦、M. E. Brito、横川晴 美
33	平成 23 年 4 月 1 日	JOURNAL OF THE CERAMIC SOCIETY OF JAPAN, Vol.119 (4), 307-309	Carbon deposition map for nickel particles onto oxide substrates analyzed by micro-Raman spectroscopy	吉永昌史、岸本治夫、M. E. Brito、山地克彦、堀田照久、 横川晴美
34	平成 23 年 4 月 1 日	ECS Transactions, Vol.30, 123-127	Acceleration Test on SO <sub>2</sub> Poisoning of Sm <sub>0.5</sub> Sr <sub>0.5</sub> CoO <sub>3</sub> Cathode	山地克彦、岸本治夫、堀田 照久、横川晴美、秋草順、川 野光伸

35	平成 23 年 5 月 1 日	ECS Transactions, Vol.31, 2213-2216	Effect of Polarization on Platinum Deposition at LSM/YSZ Interfaces	山地 克彦、下之蘭 太郎、岸 本 治夫、M. E. Brito、王 芳 芳、趙 度衡、堀田 照久、横 川 晴美
36	平成 23 年 5 月 1 日	ECS Transactions, Vol.35, 2191-2200	Cooperative Investigations on Degradation of Cathode Materials in Segment-in- Series Cells by MHI	横川 晴美、岸本 治夫、山地 克彦、堀田 照久、渡辺隆夫、 山本融、江口浩一、松井敏明、 佐々木一成、白鳥佑介、川田 達也、佐藤一永、橋田俊之、 宇根本篤、加幡達雄、富田和男
37	平成 23 年 5 月 1 日	ECS Transactions, Vol.35, 207-216	Current Status of NEDO Project on Durability/ Reliability of Solid Oxide Fuel Cell Stacks/Systems	横川 晴美
38	平成 23 年 5 月 1 日	ECS Transactions, Vol.35, 493-398	Imaging of Oxide Ionic Flows at Practical SOFC Cells by Isotope Labeling Technique	堀田 照久、下之蘭 太郎、岸 本 治夫、山地 克彦、M. E. Brito、横川 晴美
39	平成 23 年 5 月 1 日	ECS Transactions, Vol.35, 511-517	Accelerated Degradation by Impurities for Evaluating Life Time of SOFCs	堀田 照久、岸本 治夫、山地 克彦、M. E. Brito、下之蘭 太 郎、趙度衡、王芳芳、横川晴美
40	平成 23 年 5 月 1 日	ECS Transactions, Vol.35, 2341-2347	Microstructural Aspects of Cation Interdiffusion Across the LSCF/GDC Interface	M. E. Brito、出来 学、山地 克 彦、岸本 治夫、下之蘭 太郎、 堀田 照久、横川 晴美
41	平成 23 年 5 月 1 日	ECS Transactions, Vol.35, 1171-1176	Phase Transformation of Stabilized Zirconia in SOFC Stacks	岸本 治夫、下之蘭 太郎、山 地 克彦、M. E. Brito、堀田 照 久、横川 晴美
42	平成 23 年 6 月 1 日	SOLID STATE IONICS, Vol.192, 476-479	Electronic Conductivity of Pure Ceria	熊 岳平、岸本 治夫、山地 克 彦、吉永 昌史、堀田 照久、 M. E. Brito、横川 晴美
43	平成 23 年 8 月 1 日	JOURNAL OF POWER SOURCES, Vol.196, 7070-7075	General Considerations on Degradation of SOFC Anodes and Cathodes Due to Impurities in Gases	横川 晴美、山地 克彦、M. E. Brito、岸本 治夫、堀田 照久
44	平成 23 年 9 月 1 日	JOURNAL OF POWER SOURCES, Vol.196, 7232-7236	Interfacial Stability and Cation Diffusion across the LSCF/GDC Interface	出来学、M. E. Brito、山地 克 彦、趙度衡、岸本治夫、下之 蘭太郎、堀田照久、横川 晴美
45	平成 23 年 10 月 1 日	JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY, Vol.158 (11), B1391-B1397	Sulfur Poisoning on La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> Co <sub>0.2</sub> Fe <sub>0.8</sub> O <sub>3</sub> Cathode for SOFCs	王 芳芳、山地 克彦、趙 度衡、 下之蘭 太郎、岸本 治夫、M. E. Brito、堀田 照久、横川 晴美
46	平成 23 年 10 月 1 日	INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED CERAMIC TECHNOLOGY, Vol.8, (6), 1374-1381	Effects of Thermal Cycling on the Formation of Oxide Scale of Fe-Cr Alloy Interconnects for SOFCs	堀田 照久、吉永 昌史、岸本 治夫、山地 克彦、M. E. Brito、 横川 晴美
47	平成 24 年 1 月 1 日	Journal of the Koren Ceramic Society, Vol.49 (1), 11-18	Degradation of SOFC Cell/ Stack Performance in Relation to Materials Deterioration	横川 晴美、堀田 照久、山地 克彦、岸本 治夫、M. E. Brito
48	平成 24 年 1 月 1 日	JOURNAL OF POWER SOURCES, Vol.201, 112-120	Combined Cr and S poisoning in Solid Oxide Fuel Cell Cathodes	J. Andreas Schuler、横川 晴 美、Caroline Calderone、 Quentin Jeangros、Zacharie Wuillemain、A&iuml;l:cha Hessler-Wyser、Jan Van her le
49	平成 24 年 2 月 1 日	JOURNAL OF POWER SOURCES, Vol.199, 174-178	Agglomeration behavior of Nickel Particles on YSZ and TiO <sub>2</sub> -doped YSZ Electrolytes	岸本 治夫、鈴木 晶人、下之 蘭 太郎、M. E. Brito、山地 克 彦、堀田 照久、宗像文男、横 川 晴美
50	平成 24 年 4 月 1 日	ECS Transactions, Vol.45, 193-199	Electronic Conductivity of Scandia-Stabilized Zirconia Doped with 1 mol% CeO <sub>2</sub>	下之蘭 太郎、岸本 治夫、山 地 克彦、西 美奈、M. E. Brito、堀田 照久、横川 晴美

51	平成 24 年 5 月 1 日	EGS Transactions, Vol.42, 297-304	Degradation Mechanism with Impurities and Life Time Estimation for SOFCs	堀田 照久、趙 度衡、王 芳芳、 西 美奈、下之藺 太郎、岸本 治夫、山地 克彦、M. E. Brito、 横川 晴美
52	平成 24 年 6 月 26 日	10th European SOFC Forum	Evaluation of Sulfur Dioxide Poisoning for LSCF Cathodes	王 芳芳、山地 克彦、趙 度衡、 下之藺 太郎、西 美奈、岸本 治夫、M. E. Brito、堀田 照 久、横川 晴美
53	平成 24 年 6 月 26 日	10th European SOFC Forum	Cation Diffusion Behavior in the LSCF/GDC/YSZ System	王 芳芳、M. E. Brito、山地 克 彦、下之藺 太郎、西 美奈、 趙 度衡、岸本 治夫、堀田 照 久、横川 晴美
54	平成 24 年 6 月 26 日	10th European SOFC Forum	Chromium Poisoning Mechanism of $(La_{0.6}Sr_{0.4})(Co_{0.2}Fe_{0.8})O_3$ Cathode	趙 度衡、堀田 照久、岸本 治 夫、山地 克彦、M. E. Brito、 下之藺 太郎、西 美奈、王 芳 芳、横川 晴美
55	平成 24 年 8 月 1 日	JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY, Vol.159 (8), F1-F6	Imaging of Oxide Ionic Diffusion at Cathode/ Interlayer/Electrolyte Interfaces in Solid Oxide Fuel Cells: Effects of Long-Term Operation	堀田 照久、趙 度衡、下之藺 太郎、岸本 治夫、山地 克彦、 M. E. Brito、横川 晴美

—受賞—

No.	年月	受賞者	受賞内容	表彰団体・賞名
1	平成 23 年 11 月	Harumi Yokokawa	For exceptional work in the field of fuel cell related technologies	Fuel Cell Seminar & Exposition Award

—新聞・雑誌への掲載—

No.	発表年月日	発表媒体	発表内容
1	平成 22 年 8 月 30 日	産総研プレス発表	燃料電池セル内の酸素イオン分布の可視化に成功
2	平成 22 年 9 月 6 日	日刊工業新聞朝刊	燃料電池セル内の酸素イオン分布の可視化に成功
3	平成 22 年 10 月 15 日	分散エネルギー新聞	燃料電池セル内の酸素イオン分布の可視化に成功

課題 2-2) 化学的解析

—特許—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 20 年 10 月 31 日	PCT/JP2008/003154	燃料電池用電極材料及びその 製造方法、並びに該燃料電池電 極材料を含有してなる燃料電 池用電極及び燃料電池	九州大学

—研究発表・講演—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 7 月 2 日	8th European SOFC Forum (Lucerne, Switzerland) <Poster>	Electrochemical Performance of Anode-Supported SOFCs Operated with Higher Hydrogen Fuels.	Yuji KAWAZOE, Yuusuke SHIRATORI, Kohei ITOH and Kazunari SASAKI
2	平成 20 年 7 月 3 日	8th European SOFC Forum (Lucerne, Switzerland)	Impurity Poisoning of SOFCs: Towards Understanding Chemical Degradation Mechanisms.	Kazunari SASAKI, Kengo HAGA, Junya YAMAMOTO and Kaori DOBUCHI
3	平成 20 年 7 月 5 日	第 45 回化学関連支部合同九州 大会 (北九州) <ポスター>	Effect of water vapor on long-term SOFC cathode performance.	金善恵、大嶋敏宏、白鳥祐介、 伊藤衡平、佐々木一成
4	平成 20 年 7 月 5 日	第 45 回化学関連支部合同九州 大会 (北九州) <ポスター>	バイオガス直接供給時の SOFC の発電特性	白鳥祐介、大嶋敏宏、佐々木 一成

5	平成 20 年 7 月 5 日	第 45 回化学関連支部合同九州 大会（北九州）〈ポスター〉	実燃料ガス供給時の SOFC の被 毒耐久性	幸英治、芳賀健吾、白鳥祐介、 伊藤衡平、佐々木一成
6	平成 20 年 7 月 5 日	第 45 回化学関連支部合同九州 大会（北九州）〈ポスター〉	炭化水素燃料供給時の SOFC ア ノード複合材料の発電特性	荒木研太、山本隼也、白鳥祐 介、伊藤衡平、佐々木一成
7	平成 20 年 9 月 5 日	Advances in Ceramic Science and engineering (Switzerland) 〈Invited〉	Fuel Cell Electrode Materials with Durability and Flexibility.	Kazunari SASAKI
8	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会(東京)	SOFC の化学的耐久性に関する 研究	佐々木一成、芳賀健吾、荒木 研太、幸英治、川添雄司、瓜 生智愛、金善恵、土淵香織、 山本隼也、周致霊、的場武、 森博、大嶋敏宏、野尻能弘、 白鳥祐介、伊藤衡平
9	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会(東京) 〈ポスター〉	炭化水素燃料供給時の硫黄系 不純物による炭素析出促進効 果に関する研究	川添雄司、幸英治、白鳥祐介、 伊藤衡平、佐々木一成
10	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会(東京) 〈ポスター〉	アノード支持型 SOFC の硫黄被 毒耐久性	瓜生智愛、土淵香織、芳賀健 吾、白鳥祐介、伊藤衡平、佐々 木一成
11	平成 20 年 12 月 19 日	第 17 回 SOFC 研究発表会(東京)	遷移金属添加ナノ構造制御 Ni アノードの電極特性と長時間 被毒耐久性	荒木研太、山本隼也、芳賀健 吾、野尻能弘、白鳥祐介、伊 藤衡平、佐々木一成
12	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学会第 76 回大会(京都)	固体酸化物形燃料電池の被毒 耐久性	佐々木一成
13	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学会第 76 回大会(京都) 〈ポスター〉	アノード支持型 SOFC における 硫化水素被毒挙動	瓜生智愛、土淵香織、芳賀健 吾、白鳥祐介、伊藤衡平、佐々 木一成
14	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学会第 76 回大会(京都) 〈ポスター〉	SOFC カソードの被毒耐久性： SO <sub>2</sub> と水蒸気の影響	Runru LIU, Seon Hye KIM, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
15	平成 21 年 5 月 12 日	第 16 回燃料電池シンポジウム (東京)	固体酸化物形燃料電池の化学 的耐久性に関する研究	佐々木一成、芳賀健吾、瓜生 智愛、荒木研太、幸英治、川 添雄司、山本隼也、金善恵、 周致霊、的場武、大嶋敏宏、 豊田美沙、野尻能弘、白鳥祐 介、伊藤衡平、古山通久、横 本克巳
16	平成 21 年 7 月 11 日	第 46 回化学関連支部合同九州 大会（北九州）〈ポスター〉	SOFC カソードの被毒耐久 性:SO <sub>2</sub> と水蒸気の影響	劉潤茹、金善恵、大嶋敏宏、 白鳥祐介、伊藤衡平、佐々木 一成
17	平成 21 年 7 月 11 日	第 46 回化学関連支部合同九州 大会（北九州）〈ポスター〉	固体酸化物形燃料電池の多様 な微量不純物による被毒効果 評価	芳賀健吾、白鳥祐介、伊藤衡 平、佐々木一成
18	平成 21 年 7 月 11 日	第 46 回化学関連支部合同九州 大会（北九州）〈ポスター〉	固体酸化物形燃料電池におけ る交換電流密度の作動条件依 存性	米倉嵩博、白鳥祐介、伊藤衡 平、佐々木一成
19	平成 21 年 7 月 30 日	日本学術振興会素材プロセシ ング第 69 委員会第 2 分科会(新 素材関連技術) 第 63 回研究会 (東京) 〈依頼講演〉	SOFC の被毒劣化機構とデー タベース化	佐々木 一成
20	平成 21 年 9 月 4 日	トークショー・イン・九州 2009 (大分) 〈ポスター〉	燃料電池高機能化・高耐久化の ための実践的計算化学	小倉鉄平、石元孝佳、南雲亮、 古山通久
21	平成 21 年 9 月 12 日	第 22 回九州電子顕微鏡技術研 究会(福岡) 〈特別講演〉	水素エネルギー技術の現状と 電顕研究への期待	佐々木一成、周致霊
22	平成 21 年 9 月 14 日	(社)日本機械学会 2009 年度 年次大会 燃料電池・水素技術 の実用化に向けて(岩手)	高耐久化に向けた燃料電池電 極材料の研究開発動向	佐々木 一成

23	平成 21 年 9 月 17 日	日本機械学会第 303 回講習会 「新エネルギーシステムのフ ロントニア技術を学ぶ」-燃料 電池・太陽電池・2 次電池の動 向と最新技術- (大阪) 〈依 頼講演〉	水素利用と燃料電池について	佐々木一成
24	平成 21 年 10 月 1 日	(社) 日本簡易ガス協会講演会 (福岡) 〈依頼講演〉	水素エネルギー時代における 簡易ガス事業への期待	佐々木一成
25	平成 21 年 10 月 6 日	216th ECS Meeting with 11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (Vienna, Austria)	Chemical Degradation and Poisoning Mechanism of Cermet Anodes in Solid Oxide Fuel Cells.	Kengo HAGA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
26	平成 21 年 10 月 6 日	216th ECS Meeting with 11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells(Vienna, Austria) 〈Poster〉	Performance and Long-term Durability of Nanostructured Ni Anodes Doped with Transition Metals prepared by Spray Mist Dryer.	Kenta ARAKI, Junya YAMAMOTO, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
27	平成 21 年 10 月 6 日	216th ECS Meeting with 11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (Vienna, Austria)〈Poster〉	Theoretical Study for Properties of SOFC Anode Using Three-Dimensional Porous Structure Simulator.	Tepei OGURA, Takayoshi ISHIMOTO, Ryo NAGUMO and Michihisa KOYAMA
28	平成 21 年 10 月 8 日	216th ECS Meeting with 11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells, (Vienna, Austria) 〈Poster〉	The Influence of Water Vapor and SO <sub>2</sub> on the Durability of Solid Oxide Fuel Cell.	Runru LIU, Seon Hye KIM, Yusuke SHIRATORI, Toshihiro OSHIMA, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
29	平成 21 年 10 月 20 日	第 4 回「九大・北大 合同フロ ンティア・セミナー」(東京)	燃料電池を核にした水素エネ ルギー技術の現状と将来展望 ～究極の脱炭素社会実現に向 けた九州大学の挑戦～	佐々木一成
30	平成 21 年 10 月 23 日	水素エネルギー先端技術展 2009 九大・産総研専門セミナ ー 九州大学・産総研における 最新の研究動向(北九州)	燃料電池高耐久化に向けた電 極材料研究	佐々木一成
31	平成 21 年 10 月 21 日 ～23 日	水素エネルギー先端技術展 2009(北九州)〈ポスター〉	燃料電池高機能化・高耐久化の ための実践的計算化学	小倉鉄平、石元孝佳、南雲亮、 古山通久
32	平成 21 年 10 月 30 日	「水素・燃料電池ワークショップ in Kitakyushu」第 2 回化学 工学 3 支部合同北九州大会 (北九州) 〈依頼講演〉	水素科学のための理論手法と 水素・燃料電池への応用	古山通久
33	平成 21 年 11 月 9 日	The 4th Asian Conference on Electrochemical Power Sources(Taipei, Taiwan) 〈Invited〉	Chemical durability of SOFCs.	Kazunari SASAKI
34	平成 21 年 11 月 12 日	日本コンピューター化学会 2009 秋季大会(仙台) 〈ポスタ ー〉	燃料電池電極における硫黄被 毒に関する量子化学的解析	小倉鉄平、石元孝佳、南雲亮、 古山通久
35	平成 21 年 11 月 24 日	大阪科学技術センター燃料電 池部会第 190 回定例会(福 岡) 〈依頼講演〉	SOFC の被毒耐久性に関する研 究	佐々木一成
36	平成 21 年 11 月 24 日	大阪科学技術センター燃料電 池部会第 190 回定例会(福 岡) 〈依頼講演〉	九州大学・産総研における水素 エネルギー研究への取り組み	佐々木一成
37	平成 21 年 12 月 2 日	日本化学会産学交流フォーラ ム 2009 環境・資源・エネルギ ーの将来展望と化学技術の貢 献(東京) 〈依頼講演〉	水素エネルギー技術の現状と 将来展望	佐々木一成
38	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会(東 京)〈ポスター〉	SOFC アノード複合材料の被毒 耐久性	荒木研太、山本隼也、白鳥祐 介、伊藤衡平、佐々木一成
39	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会(東 京)〈ポスター〉	SOFC の硫黄系不純物被毒にお ける炭化水素との複合被毒効	幸英治、芳賀健吾、白鳥祐介、 伊藤衡平、佐々木一成

			果	
40	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会(東京)<ポスター>	Influence of water vapor and SO <sub>2</sub> on the long-term durability of SOFC cathodes. (SOFC カソードの被毒耐久性: 水蒸気と SO <sub>2</sub> の影響)	Runru LIU, Seon Hye KIM, Yusuke SHIRATORI, Toshihiro OSHIMA, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
41	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会(東京)<ポスター>	量子化学計算を用いた SOFC 燃料極における硫黄被毒解析	小倉鉄平、石元孝佳、南雲亮、古山通久
42	平成 21 年 12 月 18 日	第 18 回 SOFC 研究発表会(東京)	SOFC の被毒耐久性に関する研究～化学的劣化機構の解明を目指して～	佐々木一成、芳賀健吾、荒木研太、幸英治、米倉嵩博、劉潤茹、金善恵、的場武、大嶋敏宏、森博、瓜生智愛、永井美德、周致靈、豊田美沙、野尻能弘、小倉鉄平、白鳥祐介、伊藤衡平、古山通久、横本克巳
43	平成 22 年 2 月 4 日	Fuel Cell Symposium “Alternative Fuel Cell Materials and Devices” in International Hydrogen Energy Development Forum 2010 (Fukuoka)	Alternative Electrode Materials for PEFCs and SOFCs: Perspectives and case studies.	Kazunari SASAKI
44	平成 22 年 2 月 4 日	Fuel Cell Symposium “Alternative Fuel Cell Materials and Devices” in International Hydrogen Energy Development Forum 2010 (Fukuoka)	Computational Chemistry for Fuel Cell Materials Design: Fundamentals and Applications to Industrial Problems.	Michihisa KOYAMA
45	平成 22 年 2 月 4 日	International Hydrogen Energy Development Forum 2010, Fukuoka<Poster>	Co-poisoning Effects by Sulfur Impurities and Hydrocarbons in SOFCs.	Eiji YUKI, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
46	平成 22 年 2 月 4 日	International Hydrogen Energy Development Forum 2010, Fukuoka<Poster>	Influence of Operating Condition on Exchange Current Density for SOFC Electrode Reactions.	Takahiro YONEKURA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
47	平成 22 年 2 月 4 日	International Hydrogen Energy Development Forum 2010 (Fukuoka) <Poster>	Performance and Long-term Durability of Nanostructured Ni Anodes Doped with Transition Metals Prepared by Spray Mist Dryer.	Kenta ARAKI, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
48	平成 22 年 2 月 4 日	International Hydrogen Energy Development Forum 2010 (Fukuoka) <Poster>	The Effect of Water Vapor and SO <sub>2</sub> on the Durability of SOFC Cathodes.	Run Ru LIU, Seon Hye KIM, Yusuke SHIRATORI, Toshihiro OSHIMA, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
49	平成 22 年 2 月 4 日	International Hydrogen Energy Development Forum 2010 (Fukuoka) <Poster>	Quantum Chemical Analysis for SOFC Anode Poisoning.	Teppei OGURA, Takayoshi ISHIMOTO, Ryo NAGUMO and Michihisa KOYAMA
50	2010 年 3 月 3～5 日	FCEXP02010 水素・燃料電池研究発表大会～FC アカデミック フォーラム～(東京)	燃料電池高耐久化のための実践的計算化学	古山通久、小倉鉄平、南雲亮、石元孝佳
51	平成 22 年 3 月 19 日	平成 21 年度日本伝熱学会九州支部講演会(福岡) <依頼講演>	水素エネルギー社会の実現に向けた現状と展望について: 世界の動向と九州グループの取り組み	佐々木一成
52	平成 22 年 3 月 27 日	日本化学会第 90 春季年会(大阪) <基調講演>	燃料電池を核とした水素エネルギー技術の現状と将来展望	佐々木一成
53	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回大会(富山)	SOFC の化学的劣化機構に関する研究	佐々木一成、芳賀健吾、幸英治、荒木研太、米倉嵩博、劉潤茹、大嶋敏宏、瓜生智愛、永井美德、白鳥祐介、伊藤衡

				平、古山通久、横本克巳
54	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回大会 (富山)	量子化学計算による SOFC 硫黄被毒劣化メカニズム解析	小倉鉄平、石元孝佳、南雲亮、古山通久
55	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回大会 (富山)〈ポスター〉	固体酸化物形燃料電池電極における交換電流密度の作動条件依存性	米倉嵩博、白鳥祐介、伊藤衛平、佐々木一成
56	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回大会 (富山)〈ポスター〉	SOFC の被毒耐久性における燃料不純物種依存性	峯松大輔、芳賀健吾、野尻能弘、白鳥祐介、伊藤衛平、佐々木一成
57	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回大会 (富山)〈ポスター〉	SOFC 硫黄被毒の作動条件依存性	芳住知勇、白鳥祐介、伊藤衛平、佐々木一成
58	2010 年 5 月 19、20 日	第 17 回燃料電池シンポジウム (東京)〈ポスター〉	量子化学計算を用いた SOFC 燃料極における硫黄被毒マイクロレベル解析	小倉鉄平、石元孝佳、古山通久
59	平成 22 年 6 月 3 日	第 26 回化学反応討論会 (広島)〈ポスター〉	Adsorbed Sulfur Role for Hydrogen & Methane Dissociation on a Nickel Surface	Tepei OGURA, Takayoshi ISHIMOTO, Michihisa KOYAMA
60	平成 22 年 6 月 23 日	13th International Conference on Theoretical Aspects of Catalysis (Miyagi)〈Poster〉	First Principles study for Sulfur Poisoning on an SOFC Anode	Tepei OGURA, Takayoshi ISHIMOTO, Ryo NAGUMO, Michihisa KOYAMA
61	平成 22 年 6 月 30 日	9th European SOFC Forum (Lucerne, Switzerland)〈Poster〉	Water vapor and SO <sub>2</sub> poisoning effect on the long-term durability of SOFC cathodes.	Run Ru LIU, Yusuke SHIRATORI, Toshihiro OSHIMA and Kazunari SASAKI
62	平成 22 年 6 月 30 日	9th European SOFC Forum, Lucerne, Switzerland〈Poster〉	Sulfur Poisoning of SOFCs: Dependence on operational parameters.	Tomoo YOSHIZUMI, Eiji YUKI, Yusuke SHIRATORI and Kazunari SASAKI
63	平成 22 年 6 月 30 日	9th European SOFC Forum (Lucerne, Switzerland)〈Poster〉	Computational Study for Sulfur Poisoning on a SOFC Anode Using Density Functional Theory.	Tepei OGURA, Takayoshi ISHIMOTO, Ryo NAGUMO, Michihisa KOYAMA
64	平成 22 年 7 月 2 日	9th European SOFC Forum (Lucerne, Switzerland)	Chemical Durability of SOFCs: Influence of Impurities on Long-term Performance.	Kazunari SASAKI, Kengo HAGA, Daisuke MINEMATSU, Tomoo YOSHIZUMI, Run Ru LIU, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Michihisa KOYAMA and Katsumi YOKOMOTO
65	平成 22 年 7 月 10 日	第 47 回化学関連支部合同九州大会 (北九州)〈ポスター〉	Durability of SOFC cathode under SO <sub>x</sub> poisoning.	Run Ru LIU, Seon Hye KIM, 大嶋敏宏、白鳥祐介、佐々木一成
66	平成 22 年 7 月 10 日	第 47 回化学関連支部合同九州大会 (北九州)〈ポスター〉	固体酸化物形燃料電池電極における交換電流密度の作動条件依存性	米倉嵩博、野尻能弘、白鳥祐介、伊藤衛平、佐々木一成
67	平成 22 年 7 月 10 日	第 47 回化学関連支部合同九州大会 (北九州)〈ポスター〉	SOFC の被毒耐久性における燃料不純物種依存性～アルカリ金属およびアルカリ土類金属の化合物を中心として～	峯松大輔、芳賀健吾、野尻能弘、白鳥祐介、伊藤衛平、佐々木一成
68	平成 22 年 7 月 10 日	第 47 回化学関連支部合同九州大会 (北九州)〈ポスター〉	SOFC 硫黄被毒の作動条件依存性	芳住知勇、白鳥祐介、伊藤衛平、佐々木一成
69	平成 22 年 7 月 23 日	6th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (Hokkaido)	Density Functional Theory Studies of Sulfur Poisoning in Solid Oxide Fuel Cells: Role of Surface & Subsurface Sulfur atoms	Tepei OGURA, Takayoshi ISHIMOTO, Ryo NAGUMO, Michihisa KOYAMA
70	平成 22 年 8 月 24 日	IUMRS-ICEM2010 (Goyang, Gyeonggi-do, Korea)〈Invited talk〉	Computational Chemistry for Designing Durable Fuel Cell Materials	Michihisa KOYAMA
71	平成 22 年 9 月 5 日	化学工学会反応工学部会若手会講演会 (京都)〈招待講演〉	燃料電池高性能化・長寿命のための理論シミュレーション	古山通久

72	平成 22 年 9 月 6 日	化学工学会第 42 回秋季大会 (京都)〈招待講演〉	分子論に根差した階層型連成 現象シミュレーション ~燃料 電池・水素分野を中心とした応 用と展望~	古山通久
73	平成 22 年 9 月 6 日	化学工学会第 42 回秋季大会 (京都)	量子化学計算を用いた SOFC 硫 黄被毒反応機構の構築	小倉鉄平、石元孝佳、古山通 久
74	平成 22 年 9 月 15 日	分子科学討論会 2010 大阪 (大 阪)〈ポスター〉	固体酸化物形燃料電池の高性 能化・高耐久化に向けた計算化 学的アプローチ	小倉鉄平、中尾和英、本山雅 孝、石元孝佳、古山通久
75	平成 22 年 9 月 15 日	第 352 回電池技術委員会 (福 岡)〈依頼講演〉	福岡の水素 FC 拠点全体の概要 ならびに燃料電池材料研究に ついて	佐々木一成
76	平成 22 年 9 月 18 日	第 106 回触媒討論会 (山梨)〈招 待講演〉	燃料電池高性能化・長寿命のた めの計算化学アプローチ	古山通久
77	平成 22 年 9 月 29 日 -10 月 1 日	水素エネルギー先端技術展 2010 (北九州)〈ポスター〉	燃料電池高機能化・高耐久化に 向けた実践的計算化学	中尾和英、松下瞬平、小倉鉄 平、石元孝佳、古山通久
78	平成 22 年 10 月 15 日	第 20 回キャラクタリゼーショ ン講習会 (大分)〈ポスター〉	燃料電池高性能化・高耐久化に 関する計算化学アプローチ	小倉鉄平、石元孝佳、古山通 久
79	平成 22 年 11 月 5 日	第 30 回表面科学学術講演会 (大阪)〈ポスター〉	SOFC 燃料極における硫黄被毒 過程に関する表面反応解析	小倉鉄平、石元孝佳、古山通 久
80	平成 22 年 12 月 2 日	MRS 2010 Fall Meeting (Boston, USA)	Chemical Durability of SOFCs: Equilibrium Consideration and Kinetic Aspects.	Kazunari SASAKI, Kengo HAGA, TomooYOSHIZUMI, Daisuke MINEMATSU, Eiji YUKI, Run Ru LIU, Chie URYU, Toshihiro OSHIMA, Teppei OGURA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Michihisa KOYAMA and Katsumi YOKOMOTO
81	平成 22 年 12 月 6 日	第 30 回水素エネルギー協会大 会 (東京)	SOFC のセル性能定量化に関す る研究	米倉嵩博、芳住知勇、白鳥祐 介、立川雄也、伊藤衡平、佐々 木一成
82	平成 22 年 12 月 13 日	富士電機技術交流会 (東京)〈招 待講演〉	高温触媒表面反応解明に向け た計算化学アプローチ	古山通久
83	平成 22 年 12 月 16 日	第 19 回 SOFC 研究発表会 (東京)	固体酸化物形燃料電池の化学 的耐久性に関する研究	佐々木一成、芳賀健吾、瓜生 智愛、芳住知勇、峯松大輔、 米倉嵩博、荒木研太、幸英治、 劉潤茹、周致靈、大嶋敏宏、 的場武、永井美德、野尻能弘、 谷口俊輔、小倉鉄平、白鳥祐 介、伊藤衡平、古山通久、横 本克巳
84	平成 22 年 12 月 16 日	第 19 回 SOFC 研究発表会 (東京) 〈ポスター〉	SOFC 硫黄被毒の作動条件依存 性	芳住知勇、瓜生智愛、大嶋敏 弘、白鳥祐介、伊藤衡平、佐々 木一成
85	平成 22 年 12 月 16 日	第 19 回 SOFC 研究発表会 (東京) 〈ポスター〉	SOFC の硫黄系不純物被毒にお ける炭化水素との複合被毒効 果	吉富寛晃、幸英治、白鳥祐介、 大嶋敏弘、伊藤衡平、佐々木 一成
86	平成 22 年 12 月 16 日	第 19 回 SOFC 研究発表会 (東京) 〈ポスター〉	Influence of water vapor, SO <sub>2</sub> and NaCl on the long-term durability of SOFC cathodes.	Run Ru LIU, Seon Hye KIM, Shunsuke TANIGUCHI, Toshihiro OSHIMA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
87	平成 22 年 12 月 16 日	第 19 回 SOFC 研究発表会 (東京) 〈ポスター〉	SOFC のセル性能定量化に関す る研究	米倉嵩博、立川雄也、芳住知 勇、白鳥祐介、伊藤衡平、佐々 木一成
88	平成 22 年 12 月 17 日	第 19 回 SOFC 研究発表会 (東京)	量子化学計算を用いた SOFC 燃 料極における不純物被毒解析	小倉鉄平、中尾和英、本山雅 孝、石元孝佳、古山通久
89	平成 23 年 2 月 3 日	International Hydrogen Energy Development Forum 2011 (Fukuoka, Japan) 〈Poster〉	Quantum Chemical Analysis for Sulfur Poisoning and Degradation on an SOFC Anode	Teppei OGURA, Takayoshi ISHIMOTO and Michihisa KOYAMA

90	平成 23 年 2 月 3 日	International Hydrogen Energy Development Forum 2011 (Fukuoka, Japan) <Poster>	Co-poisoning effect of sulfur and hydrocarbons on SOFC anode performance.	Hiroaki YOSHITOMI, Eiji YUKI, Toshihiro OSHIMA, Chie URYU, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
91	平成 23 年 2 月 3 日	International Hydrogen Energy Development Forum 2011 (Fukuoka, Japan) <Poster>	Chemical Degradation and Poisoning Mechanism of Cermet Anodes in Solid Oxide Fuel Cells.	Kota MIYOSHI, Kengo HAGA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
92	平成 23 年 2 月 3 日	International Hydrogen Energy Development Forum 2011 (Fukuoka, Japan) <Poster>	Exchange Current Density of Solid Oxide Fuel Cell Electrodes.	Takahiro YONEKURA, Yuya TACHIKAWA, Tomoo YOSHIZUMI, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
93	平成 23 年 3 月 3 日	FC EXPO 2011~FC アカデミックフォーラム~(東京)	燃料電池電極の化学的耐久性と新規材料開発	佐々木一成
94	平成 23 年 3 月 29 日	電気化学会第 78 回大会(横浜) <ポスター>	空気中の微量成分による SOFC 空気極の被毒・劣化挙動	谷口俊輔、劉潤茹、白鳥祐介、伊藤衡平、佐々木一成
95	平成 23 年 3 月 29 日	電気化学会第 78 回大会(横浜) <ポスター>	固体酸化物形燃料電池電極の交換電流密度に対する圧力および温度依存性	立川雄也、米倉嵩博、芳住知勇、白鳥祐介、伊藤衡平、佐々木一成
96	平成 23 年 3 月 31 日	電気化学会第 78 回大会(横浜)	リン被毒効果：SOFC の電極性能と内部改質への影響	三好航太、芳賀健吾、白鳥祐介、伊藤衡平、佐々木一成
97	平成 23 年 3 月 31 日	電気化学会第 78 回大会(横浜)	SOFC における硫黄系不純物と炭化水素との複合被毒効果	吉富寛晃、幸英治、大嶋敏弘、瓜生智愛、白鳥祐介、伊藤衡平、佐々木一成
98	平成 23 年 3 月 31 日	電気化学会第 78 回大会(横浜)	SOFC 燃料極における硫黄被毒時表面反応シミュレーション	小倉鉄平、石元孝佳、古山通久
99	平成 23 年 5 月 2 日	219th ECS Meeting (Montreal, Canada) <Poster>	Influence of SO <sub>2</sub> on the long-term durability of SOFC cathodes.	Run Ru LIU, Shunsuke TANIGUCHI, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
100	平成 23 年 5 月 3 日	219th ECS Meeting (Montreal, Canada) <Poster>	Sulfur Poisoning of SOFCs: Dependence on operational parameters.	Tomoo YOSHIZUMI, Chie URYU, Toshihiro OSHIMA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
101	平成 23 年 5 月 5 日	219th ECS Meeting (Montreal, Canada)	Impurity Poisoning of SOFCs.	Kazunari SASAKI, Kengo HAGA, Tomoo YOSHIZUMI, Dausuke MINEMATSU, Eiji YUKI, Run Ru LIU, Chie URYU, Toshihiro OSHIMA, Shunsuke TANIGUCHI, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO
102	平成 23 年 5 月 5 日	219th ECS Meeting (Montreal, Canada) <Poster>	Exchange Current Density at SOFC Electrodes.	Takahiro YONEKURA, Yuya TACHIKAWA, Tomoo YOSHIZUMI, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
103	平成 23 年 5 月 6 日	219th ECS Meeting (Montreal, Canada)	Computational Study on Impurities Poisoning and Degradation of and SOFC Anode Basedon Density Functional Theory.	Teppei OGURA, Kazuhide NAKAO, Takayoshi ISHIMOTO and Michihisa KOYAMA
104	平成 23 年 6 月 28 日	触媒学会ワークショップ「ナノ粒子触媒の構造制御と表面化学」(北海道) <ポスター>	密度汎関数法を用いた Ni 触媒表面反応解析	小倉鉄平、石元孝佳、古山通久、月川久義、田島正喜
105	平成 23 年 7 月 5 日	18th International Conference on Solid State Ionics (Warsaw, Poland) <Poster>	Phosphorus Poisoning Effects to SOFC Anode Performance and Internal Reforming.	Kota MIYOSHI, Kengo HAGA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, and Kazunari SASAKI
106	平成 23 年 7 月 5 日	18th International Conference on Solid State Ionics (Warsaw, Poland) <Poster>	Classification of Impurity Elements Regarding their Relevance to Chemical Degradation of SOFC Ni-based Anodes.	Kengo HAGA, Kazunari SASAKI

107	平成 23 年 7 月 5 日	18th International Conference on Solid State Ionics (Warsaw, Poland) <Poster>	Co-Poisoning Effect of Sulfur and Hydrocarbons on SOFC Anode Performance.	Hiroaki YOSHITOMI, Eiji YUKI, Toshihiro OSHIMA, Chie URYU, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazumari SASAKI
108	平成 23 年 7 月 9 日	第 48 回化学関連支部合同九州大会 (北九州)<ポスター>	固体酸化燃料電池の発電性能シミュレーション	立川雄也、米倉嵩博、芳住知勇、白鳥祐介、佐々木一成
109	平成 23 年 7 月 9 日	第 48 回化学関連支部合同九州大会 (北九州)<ポスター>	SOFC における硫黄系不純物と炭化水素との複合被毒効果	吉富寛晃、幸英治、大嶋敏宏、瓜生智愛、白鳥祐介、伊藤衛平、佐々木一成
110	平成 23 年 7 月 9 日	第 48 回化学関連支部合同九州大会 (北九州)<ポスター>	リン被毒効果：SOFC の電極性能と内部改質への影響	三好航太、芳賀健吾、白鳥祐介、伊藤衛平、佐々木一成
111	平成 23 年 7 月 9 日	第 48 回化学関連支部合同九州大会 (北九州)<ポスター>	SOFC アノードへのアルカリ土類金属添加による炭素析出抑制に関する研究	橋本翔、白鳥祐介、佐々木一成
112	平成 23 年 7 月 11 日	7th International Conference on Chemical Kinetic (Cambridge, USA)	Computational Investigation on Kinetics of Sulfur Poisoning on Nickel Catalysts.	Teppei OGURA, Takayoshi ISHIMOTO and Michihisa KOYAMA
113	平成 23 年 7 月 22 日	福岡水素エネルギー戦略会議平成 23 年度総会・記念講演会 (福岡) <依頼講演>	次世代燃料電池への期待と産学連携による研究開発の動向	佐々木一成
114	平成 23 年 8 月 2 日	第 151 回 KASTEC セミナー (福岡) <依頼講演>	水素/燃料電池の将来	佐々木一成
115	平成 23 年 9 月 13 日	The 62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (Niigata, Japan) <Poster>	Chemical Durability of SOFCs.	Kazunari SASAKI, Kengo HAGA, Tomoo YOSHIZUMI, Daisuke MINEMATSU, Hiroaki YOSHITOMI, Kota MIYOSHI, Runru LIU, Chie URYU, Yuya TACHIKAWA, Toshihiro OSHIMA, Shunsuke TANIGUCHI, Yusuke SHIRATORI
116	平成 23 年 9 月 22 日	2nd International Workshop on Degradation Issues of Fuel Cells (Thessaloniki, Greece)	Impurity Poisoning of SOFCs.	Kazunari SASAKI
117	平成 23 年 9 月 22 日	第 108 回触媒討論会 (北海道)	新規反応モデリング法による Ni 触媒上での硫黄被毒解析	小倉鉄平、石元孝佳、古山通久、月川久義、田島正喜
118	平成 23 年 10 月 19 日	IUPAC 7th International Conference on Novel Materials and their Synthesis (NMS-VII) & 21st International Symposium on Fine Chemistry and Functional Polymers (FCFP-XXI) (Shanghai, China)	Computational chemistry for designing functional materials in future energy technologies.	Michihisa KOYAMA
119	平成 23 年 11 月 15 日	第 1 回 CSJ 化学フェスター 2011 世界化学年記念大会 (東京) <依頼講演>	水素エネルギー利用システムの将来展望	佐々木一成
120	平成 23 年 11 月 10 日	燃料電池アジアセミナー in 福岡～日韓燃料電池産業の最前線～ (北九州) <依頼講演>	水素エネルギーと新産業の実現に向けて	佐々木一成
121	平成 23 年 11 月 25 日	第 5 回 SOFC 基礎セミナー (福岡) <依頼講演>	SOFC の劣化機構：化学劣化研究の現状と今後の展開	佐々木一成
122	平成 23 年 11 月 29 日	2011 MRS Fall Meeting & Exhibit (Boston, USA) <Poster>	Poisoning Effects of SOFC Anodes by Various Alkaline-Earth Elements.	Daisuke MINEMATSU, Sho HASHIMOTO, Shunsuke TANIGUCHI, Yusuke SHIRATORI, Kazunari SASAKI
123	平成 23 年 12 月 12 日	第 20 回 SOFC 研究発表会 (東京) <ポスター>	SOFC の硫黄被毒の作動条件依存性	芳住知勇、瓜生智愛、立川雄也、大嶋敏宏、谷口俊輔、白鳥祐介、佐々木一成
124	平成 23 年 12 月 12 日	第 20 回 SOFC 研究発表会 (東京) <ポスター>	SOFC における硫黄不純物と炭化水素との複合被毒効果	吉富寛晃、幸英治、瓜生智愛、大嶋敏宏、白鳥祐介、佐々木一成

125	平成 23 年 12 月 12 日	第 20 回 SOFC 研究発表会(東京) 〈ポスター〉	リン被毒効果：SOFC アノード のセル性能と内部改質反応へ 与える影響	三好航太、芳賀健吾、谷口俊 輔、白鳥祐介、佐々木一成
126	平成 23 年 12 月 12 日	第 20 回 SOFC 研究発表会(東京) 〈ポスター〉	計算化学的手法を用いた SOFC 燃料極における炭素析出劣化 解析	小倉鉄平、石元孝佳、古山通 久、月川久義、田島正喜
127	平成 23 年 12 月 13 日	第 20 回 SOFC 研究発表会(東京)	固体酸化物形燃料電池の化学 的耐久性に関する研究	佐々木一成、芳賀健吾、瓜生 智愛、芳住知勇、峯松大輔、 吉富寛晃、三好航太、橋本翔、 周致霊、大嶋敏宏、的場武、 永井美德、川畑勉、小倉鉄平、 古山通久、横本克己、谷口俊 輔、白鳥祐介
128	平成 23 年 12 月 13 日	6th International Symposium on Surface Science (Tokyo, Japan)	Computational Study on the Lattice Expansion Effect for Surface Stable Phase in Ni-S Systems.	Teppeï OGURA, Takayoshi ISHIMOTO, Michihisa KOYAMA, Hisayoshi TSUKIKAWA and Masaki TAJIMA
129	平成 23 年 12 月 15 日	第 31 回表面科学学術講演会 (東京)〈ポスター〉	量子化学計算に基づく表面反 応機構構築法の開発	小倉鉄平、石元孝佳、古山通 久、月川久義、田島正喜
130	平成 24 年 1 月 24 日	2011 年度触媒学会水素の製造 と利用に関するシンポジウム (東京)〈依頼講演〉	次世代燃料電池の材料研究と 産学連携	佐々木一成
131	平成 24 年 3 月 7 日	表面科学会関西支部 20 周年若 手ポスター発表会(京都)〈ポ スター〉	Ni-S 表面相における金属格子 膨張効果の計算解析	小倉鉄平、月川久義、田島正 喜
132	平成 24 年 3 月 27 日	日本化学会第 92 春季年会 (2012)(横浜)〈ポスター〉	固体酸化物形燃料電池におけ る硫黄系不純物による性能低 下現象の検証	立川雄也、芳住知勇、細井貴 己、白鳥祐介、佐々木一成
133	平成 24 年 3 月 29 日	電気化学会第 79 回大会(浜松) 〈ポスター〉	固体酸化物形燃料電池電極の 交換電流密度と硫黄被毒の影 響	細井貴己、米倉嵩博、芳住知 勇、立川雄也、白鳥祐介、佐々 木一成
134	平成 24 年 3 月 29 日	電気化学会第 79 回大会(浜松) 〈ポスター〉	SOFC における硫黄系不純物と 炭化水素との複合被毒効果	西村隆史、吉富寛晃、白鳥祐 介、佐々木一成
135	平成 24 年 3 月 29 日	電気化学会第 79 回大会(浜松)	量子化学計算を用いた SOFC ア ノード炭素析出劣化に関する 基礎解析	小倉鉄平、月川久義、田島正 喜
136	平成 24 年 3 月 30 日	電気化学会第 79 回大会(浜松)	SOFC のサイクル耐久性に関す る研究	花崎雅洋、瓜生智愛、谷口俊 輔、白鳥祐介、佐々木一成
137	平成 24 年 3 月 30 日	電気化学会第 79 回大会(浜松)	SOFC の化学的耐久性に関する 研究：現状と今後の展望	佐々木一成、芳住知勇、峯松 大輔、吉富寛晃、三好航太、 瓜生智愛、花崎雅洋、西村隆 史、細井貴己、周致霊、大嶋 敏宏、立川雄也、谷口俊輔
138	平成 24 年 5 月 16 日	第 19 回燃料電池シンポジウム (東京)	SOFC の化学的耐久性に関する 研究	佐々木一成、芳住知勇、峯松 大輔、吉富寛晃、三好航太、 瓜生智愛、花崎雅洋、西村隆 史、細井貴己、周致霊、大嶋 敏弘、立川雄也、谷口俊輔、 白鳥祐介
139	平成 24 年 6 月 29 日	10th European SOFC Forum 2012 (Luzern, Switzerland)	Chemical Degradation of SOFCs: External impurity poisoning + internal diffusion-related phenomena.	Kazunari SASAKI, Kengo HAGA, Tomoo YOSHIZUMI, Hiroaki YOSHITOMI, Kota MIYOSHI, Shunsuke TANIGUCHI, Yusuke SHIRATORI

—論文—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 8 月 1 日	J. of Fuel Cell Sci. and Technol., Vol. 5, Iss. 3, 031212-1~8	Thermochemical Stability of Sulfur Compounds in Fuel Cell Gases Related to Fuel Impurity Poisoning.	Kazunari SASAKI

2	平成 20 年 9 月 1 日	Solid State Ionics, Vol. 179, Iss. 27-32, pp. 1427-1431	Poisoning of SOFC Anodes by Various Fuel Impurities.	Kengo HAGA, Shuichi ADACHI, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
3	平成 20 年 9 月	J. Electrochem. Soc., Vol. 155, Iss. 12, pp. B1233-B1239	Chlorine Poisoning of SOFC Ni-Cermet Anodes.	Kengo HAGA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
4	2009 年	ECS Transactions, 25 (2), pp. 2031-2038	Chemical Degradation and Poisoning Mechanism of Cermet Anodes in Solid Oxide Fuel Cells.	Kengo HAGA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
5	2009 年	ECS Transactions, 25 (2), pp. 2039-2048	Performance and Long-term Durability of Nanostructured Ni Anodes Doped with Transition Metals prepared by Spray Mist Dryer.	Kenta ARAKI, Junya YAMAMOTO, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
6	2009 年	ECS Transactions, 25 (2), pp. 2859-2866	The Influence of Water Vapor and SO <sub>2</sub> on the Durability of Solid Oxide Fuel Cells.	Runru LIU, Seon Hye KIM, Yusuke SHIRATORI, Toshihiro OSHIMA, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
7	2010 年	J. of Fuel Cell Science and Technol., Vol. 7, pp. 021011-1~6	Degradation of Solid Oxide Fuel Cell Cathodes Accelerated at a High Water Vapor Concentration.	Seon Hye KIM, K. B. SHIM, C. S. KIM, Jyh-Tyng CHOU, Toshihiro OSHIMA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
8	2010 年 6 月	Proceedings of 9th European Solid Oxide Fuel Cell Forum, pp. 7-51~7-60.	Chemical Durability of SOFCs: Influence of Impurities on Long-term Performance.	Kazunari SASAKI, Kengo HAGA, Daisuke MINEMATSU, Tomoo YOSHIZUMI, Run Ru LIU, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Michihisa KOYAMA and Katsumi YOKOMOTO
9	2010 年 6 月	Proceedings of 9th European Solid Oxide Fuel Cell Forum, pp. 7-148~7-155.	Water vapor and SO <sub>2</sub> poisoning effect on the long-term durability of SOFC cathodes.	Run Ru LIU, Yusuke SHIRATORI, Toshihiro OSHIMA and Kazunari SASAKI
10	2010 年 6 月	Proceedings of 9th European Solid Oxide Fuel Cell Forum, pp. 7-77~7-85.	Sulfur Poisoning of SOFCs: Dependence on operational parameters.	Tomoo YOSHIZUMI, Eiji YUKI, Yusuke SHIRATORI and Kazunari SASAKI
11	2010 年 6 月	Proceedings of 9th European Solid Oxide Fuel Cell Forum, pp. 7-128~7-134.	Computational Study for Sulfur Poisoning on a SOFC Anode Using Density Functional Theory	Teppei OGURA, Takayoshi ISHIMOTO, Ryo NAGUMO, Michihisa KOYAMA
12	2010 年 9 月	J. Electrochem. Soc., 157(11), B1693-B1700	Phosphorus Poisoning of Ni-Cermet Anodes in Solid Oxide Fuel Cells.	Kengo HAGA, Yusuke SHIRATORI, Yoshihiro NOJIRI, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
13	2011 年 5 月	ECS Transactions, 35 (1), pp. 1007-1014	Exchange Current Density of Solid Oxide Fuel Cell Electrodes	Takahiro YONEKURA, Yuya TACHIKAWA, Tomoo YOSHIZUMI, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
14	2011 年 5 月	ECS Transactions, 35 (1), pp. 1717-1725	Sulfur Poisoning of SOFCs: Dependence on Operational Parameters.	Tomoo YOSHIZUMI, Chie URYU, Toshihiro OSHIMA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, and Kazunari SASAKI
15	2011 年 5 月	ECS Transactions, 35 (1), pp. 2255-2260	Influence of SO <sub>2</sub> on the Long-term Durability of SOFC Cathodes.	Run Ru LIU, Shunsuke TANIGUCHI, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
16	2011 年 5 月	ECS Transactions, 35 (1), pp. 2805-2814	Impurity Poisoning of SOFCs.	Kazunari SASAKI, Kengo HAGA, Tomoo YOSHIZUMI, Daisuke MINEMATSU, Eiji YUKI, Run Ru LIU, Chie URYU, Toshihiro OSHIMA, Shunsuke TANIGUCHI, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO

17	2011年5月	ECS Transactions, 35(1), pp. 853-858	Computational Study on Impurities Poisoning and Degradation of an SOFC Anode Based on Density Functional Theory.	Tepei OGURA, Kazuhide NAKAO, Takayoshi ISHIMOTO and Michihisa KOYAMA
18	2011年9月	J. Power Sources, 196 (17), pp. 7090-7096	Influence of Water Vapor on Long-term Performance and Accelerated Degradation of Solid Oxide Fuel Cell Cathodes.	Run Ru LIU, Seon Hye KIM, Shunsuke TANIGUCHI, Toshihiro OSHIMA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO and K. SASAKI
19	2011年11月	J. of Power Sources, 196 (22), pp.9130-9140	Chemical Durability of SOFCs: Influence of impurities on long-term performance.	Kazunari SASAKI, Kengo HAGA, Tomoo YOSHIKAZUMI, Dasuke MINEMATSU, Eiji YUKI, Run Ru LIU, Chie URYU, Toshihiro OSHIMA, Tepei OGURA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Michihisa KOYAMA, Katsumi YOKOMOTO
20	2012年7月	Proceedings of 10th European SOFC Forum 2012, pp. A12_5-13	Chemical Degradation of SOFCs: External impurity poisoning + internal diffusion-related phenomena.	Kazunari SASAKI, Kengo HAGA, Tomoo YOSHIKAZUMI, Hiroaki YOSHITOMI, Kota MIYOSHI, Shunsuke TANIGUCHI, Yusuke SHIRATORI
21	<i>in Press</i>	J. Electrochem. Soc., 159(11)	Sulfur Poisoning of SOFCs: Voltage oscillation and Ni oxidation	Tomoo YOSHIKAZUMI, Shunsuke TANIGUCHI, Yusuke SHIRATORI, and Kazunari SASAKI

—受賞—

No.	年月	受賞者	受賞内容	表彰団体・賞名
1	平成21年6月	Kazunari Sasaki	Christian Friedrich Shoenbein Contribution to Science Medal	European Fuel Cell Forum

課題 2-3) 機械的解析

—研究発表・講演—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成20年9月16-18日	日本機械学会 M&M2008 材料力学カンファレンス (草津)	固体酸化物燃料電池用セラミックスの機械的特性に及ぼす還元処理の影響に関する研究	武山陽平, 佐藤一永, 川田達也, 橋田俊之, 水崎純一郎
2	平成20年9月17-20日	2008 Korea-Japan-China SOFC Symposium (Pohang, Korea)	Reaction kinetics and electrochemical stress of SOFC gas electrodes	Junichiro Mizusaki, Keiji Yashiro, Kazuhisa sato
3	平成20年10月14日	Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science 2008 (PRIME 2008) (Honolulu, Hawaii, USA)	Relationship between the reaction area and chemical capacitance in Ni-GDC cermet anode for SOFC	H. Watanabe, T. Nakamura, A. Unemoto, M. Sase, K. Ameszawa, T. Kawada
4	平成20年10月23日	第1回機能性酸化物エレクトロニクス研究会 (大阪)	Current status of SOFC technology and the functional oxides: electrode reaction and defect chemical nature	水崎純一郎
5	平成20年12月18日	第17回SOFC研究発表会(東京)	SOFCの機械的信頼性向上のための基礎研究	川田達也, 佐藤一永, 古山通久, 井口文匡, 八代圭司, 雨澤浩史, 寺田賢二郎, 湯上浩雄, 橋田俊之, 水崎純一郎

6	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会(東京)	SOFC の信頼性評価のための機械的解析	佐藤一永, 八代圭司, 井口史匡, 小山通久, 雨澤浩史, 寺田賢二郎, 湯上浩雄, 橋田俊之, 水崎純一郎, 川田達也
7	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会(東京)	セラミックス電解質・電極材料の導電性と応力場:特に安定化ジルコニアとカソード酸化物材料について	泉徹, 鳴海涼, 佐藤一永, 八代圭司, 橋田俊之, 水崎純一郎
8	平成 21 年 3 月 19 日	第 51 回固体イオニクス研究会(仙台)	SOFC 電極における”電気化学反応”と歪み場形成-バトラ-ボルマー式の再検証が導く電極での化学反応律速と酸化物の不定比組成が生み出す場-	水崎純一郎
9	平成 21 年 3 月 19 日	第 51 回固体イオニクス研究会(仙台)	SOFC の機械特性と固体イオニクス	井口史匡
10	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学会第 76 回大会(京都)	Ni サーマット電極の有効反応場解明と初期劣化現象	渡邊秀貴, 宇根本篤, 雨澤浩史, 川田達也
11	平成 21 年 6 月 5 日	資源・素材学会東北支部平成 21 年度春季大会(仙台)	燃料支持型 SOFC における電気・機械的性能に及ぼす燃料枯れの影響	陳韻吉, 佐藤一永, 橋田俊之
12	平成 21 年 9 月 6-9 日	The 6th Petite Workshop on Defect Chemical Nature of Energy Materials (Damyang, Korea)	Defect chemical approach to the research on integrity of interfaces in SOFC	T. Kawada, H. Watanabe, A Unemoto, K. Sato, K. Amezawa, M. Kurumatani, K. Terada
13	平成 21 年 9 月 6-9 日	The 6th Petite Workshop on Defect Chemical Nature of Energy Materials (Damyang, Korea)	Determinant factor of oxygen nonstoichiometry for the perovskite-type oxide with mixed transition metals on B-site	Junichiro Mizuskaki, Masatsugu Oishi, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro
14	平成 21 年 9 月 10-11 日	2009 年電気化学会秋季大会(東京)	高温 X 線回折測定による $La_{2-x}Sr_xNiO_{4+\delta}$ の結晶構造解析	中村崇司, 八代圭司, 佐藤一永, 水崎純一郎
15	平成 21 年 9 月 10-11 日	2009 年電気化学会秋季大会(東京)	燃料電池酸素極用ペロブスカイト型導電性酸化物 $La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{1-y}Fe_yO_{3-\delta}$	福田泰広, 橋本真一, 佐藤一永, 八代圭司, 水崎純一郎
16	平成 21 年 9 月 10-11 日	2009 年電気化学会秋季大会(東京)	Ni-GDC サーマット燃料極の微細構造と有効反応場, 劣化モードの関係	渡邊秀貴, 宇根本篤, 雨澤浩史, 川田達也
17	平成 21 年 9 月 13-16 日	日本機械学会 2009 年度年次大会(盛岡)	SOFC 構成セラミックスの機械的特性に及ぼす酸素ポテンシャルの影響に関する研究	武山陽平, 佐藤一永, 川田達也, 橋田俊之, 水崎純一郎
18	平成 21 年 9 月 13-16 日	日本機械学会 2009 年度年次大会(盛岡)	AE 法と電気化学的手法を併用した固体酸化物燃料電池の劣化挙動評価	佐藤一永, 熊田圭吾, 橋田俊之, 水崎純一郎
19	平成 21 年 9 月 13-16 日	日本機械学会 2009 年度年次大会(盛岡)	SOFC 構成材料における不定比性と機械特性の相関	中村崇司, 武山陽平, 福田泰広, 中山翔太, 八代圭司, 佐藤一永, 橋田俊之, 水崎純一郎
20	平成 21 年 9 月 13-16 日	日本機械学会 2009 年度年次大会(盛岡)	ナノインデンテーション法による SOFC 電極/電解質界面の機械的特性評価	伊藤英彬, 佐藤一永, 宇根本篤, 雨澤浩史, 川田達也
21	平成 21 年 9 月 13-16 日	日本機械学会 2009 年度年次大会(盛岡)	共振法による SOFC 電解質材料の機械的特性評価	櫛拓人, 佐藤一永, 宇根本篤, 雨澤浩史, 川田達也
22	平成 21 年 9 月 13-16 日	日本機械学会 2009 年度年次大会(盛岡)	雰囲気制御下でのセリア系固体電解質のクリープと電気化学特性	湯上浩雄, 井口史匡, 佐藤一永, 橋田俊之
23	平成 21 年 9 月 18 日	化学工学会・第 41 回秋季大会(広島)	固体酸化物形燃料電池における機械特性の分子シミュレーション	松山健男, 中村美穂, 島崎智実, 久保百司
24	平成 21 年 9 月 29 日	第 104 回触媒討論会(宮崎)	分子シミュレーションを用いた固体酸化物形燃料電池(SOFC)における機械特性	松山健男, 中村美穂, 島崎智実, 久保百司

25	平成 21 年 10 月 5 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC11) (Vienna, Austria)	Investigation of High Temperature Elastic Modulus and Internal Friction of SOFC Electrolytes Using Resonance Method	Takuto Kushi, Kazuhisa Sato, Atsushi Unemoto, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada
26	平成 21 年 10 月 6 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC11) (Vienna, Austria)	Investigation on Oxygen Potential Distribution in a ZrO <sub>2</sub> -Based Solid Electrolyte by Using In-Situ Micro XAS Technique	K. Amezawa, T. Ina, Y. Orikasa, A. Unemoto, H. Watanabe, F. Iguchi, Y. Terada, T. Fukutsuka, T. Kawada, H. Yugami, Y. Uchimoto
27	平成 21 年 10 月 6 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC11) (Vienna, Austria)	Classification of Mechanical Failures in SOFC and Strategy for Evaluation of the Operational Margins	T. Kawada, S. Watanabe, S. Hashimoto, T. Sakamoto, A. Unemoto, M. Kurumatani, K. Sato, F. Iguchi, K. Yashiro, K. Amezawa, K. Terada, M. Kubo, H. Yugami, T. Hashida, J. Mizusaki
28	平成 21 年 10 月 6 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC11) (Vienna, Austria)	Electrochemical Analysis on Degradation in Ni-GDC Cermet Anode for SOFC	Hidetaka Watanabe, Atsushi Unemoto, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada
29	平成 21 年 10 月 4-9 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC11) (Vienna, Austria)	Investigation of High Temperature Elastic Modulus and Internal Friction of SOFC Electrolytes Using Resonance Method	Takuto Kushi, Kazuhisa Sato, Atsushi Unemoto, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada
30	平成 21 年 10 月 4-9 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC11) (Vienna, Austria)	High Temperature Defect Equilibrium, Solid State Properties and Crystal Structure of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$ (y=0.2, 0.4, 0.6, 0.8) for Cathode of Solid Oxide Fuel Cells	Yasuhiro Fukuda, Shinichi Hashimoto, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Junichiro Mizusaki
31	平成 21 年 10 月 4-9 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC11) (Vienna, Austria)	High-Temperature Defect and Crystal Structure of Perovskite Type Oxide Ion Conductor $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{Mg}_{0.15}\text{Co}_{0.05}\text{O}_{3-\delta}$	S. Nakayama, S. Hashimoto, K. Sato, K. Yashiro, K. Amezawa, J. Mizusaki
32	平成 21 年 10 月 4-9 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC11) (Vienna, Austria)	Oxygen Nonstoichiometry, Crystal Structure and Mechanical Properties of $\text{La}_2\text{NiO}_{4+\delta}$	T. Nakamura, Y. Takeyama, S. Watanabe, K. Yashiro, K. Sato, T. Hashida, J. Mizusaki
33	平成 21 年 10 月 25-29 日	Materials Science&Technology 2009 Conference&Exhibition (Pennsylvania, USA)	Evaluation of Degradation Modes of a SOFC Electrode by Impedance Spectroscopy	T. Kawada, H. Watanabe, A. Unemoto, K. Amezawa
34	平成 21 年 10 月 25-29 日	Materials Science&Technology 2009 Conference&Exhibition (Pennsylvania, USA)	B-Site Cation Mixing Effects on Chemical Stability and Defect Equilibrium of LaCrO <sub>3</sub> Based Perovskite-Type Solid Solutions	Junichiro Mizusaki, Masatsugu Oishi, Keiji Yashiro
35	平成 21 年 10 月 27 日	とうほく 6 県新技術・新工法展 示商談会 (豊田)	マルチフィジックス計算科学 による燃料電池の性能・劣化解 析と理論設計	久保百司
36	平成 21 年 10 月 27 日	とうほく 6 県新技術・新工法展 示商談会 (豊田)	固体酸化物形燃料電池の現状 と実用化に向けた取り組み	雨澤浩史
37	平成 21 年 11 月 10 日	第 5 回学際領域における分子 イメージングフォーラム (調 布)	特殊環境下におけるその場 X 線吸収分光法—固体酸化物形 燃料電池材料の評価	雨澤浩史
38	平成 21 年 11 月 12 日	第 77 回 SOFC 研究会 (東京)	SOFC の信頼性・耐久性向上に 向けた機械的解析	佐藤一永

39	平成 21 年 11 月 12 日	日本コンピュータ化学会 2009 秋季年会 (仙台)	コンピュータシミュレーションを用いた固体酸化物形燃料電池 (SOFC) における機械特性	松山健男, 中村美穂, 島崎智実, 久保百司
40	平成 21 年 12 月 7-9 日	第 35 回固体イオニクス討論会 (大阪)	その場マイクロ X 線吸収分光法によるジルコニア系固体電解質における酸素ポテンシャル分布の評価	雨澤浩史, 伊奈稔哲, 折笠有基, 宇根本篤, 渡邊秀貴, 井口史匡, 福塚友和, 川田達也, 寺田靖子, 湯上浩雄, 内本喜晴
41	平成 21 年 12 月 7-9 日	第 35 回固体イオニクス討論会 (大阪)	B サイト混合系ペロブスカイト型導電性酸化物の高温欠陥平衡・物性・構造	福田泰広, 橋本真一, 佐藤一永, 八代圭司, 水崎純一郎
42	平成 21 年 12 月 7-9 日	第 35 回固体イオニクス討論会 (大阪)	ペロブスカイト型酸化物イオン導電体 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{Mg}_{0.15}\text{Co}_{0.05}\text{O}_{3-\delta}$ の高温欠陥平衡と物性	中山翔太, 橋本真一, 佐藤一永, 八代圭司, 雨澤浩史, 水崎純一郎
43	平成 21 年 12 月 7-9 日	第 35 回固体イオニクス討論会 (大阪)	環境制御型走査電子顕微鏡 (ESEM) による固体酸化物燃料電池ガス電極の疑似運転条件下における動的観測	呉屋祐喜, 八代圭司, 佐藤一永, 水崎純一郎
44	平成 21 年 12 月 7-9 日	第 35 回固体イオニクス討論会 (大阪)	層状ペロブスカイト酸化物 $\text{Ln}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4+\delta}$ (Ln=La, Nd) の酸素不定比性と結晶構造変化	中村崇司, 八代圭司, 佐藤一永, 水崎純一郎
45	平成 21 年 12 月 17-18 日	第 18 回 SOFC 研究発表会 (東京)	SOFC 電解質材料の高温・制御雰囲気下における機械的特性評価	櫛拓人, 佐藤一永, 宇根本篤, 雨澤浩史, 川田達也, 松山健男, 中村美穂, 島崎智実, 久保百司
46	平成 21 年 12 月 17-18 日	第 18 回 SOFC 研究発表会 (東京)	SOFC 構成材料の破壊特性評価法の確立	渡辺智, 武山陽平, 八代圭司, 雨澤浩史, 橋田俊之, 川田達也, 坂本正, 橋本真一, 佐藤一永, 水崎純一郎, 井口史匡
47	平成 21 年 12 月 17-18 日	第 18 回 SOFC 研究発表会 (東京)	SOFC 作動時の電解質におけるポテンシャル分布と応力分布	車谷麻緒, 永井将文, 井口史匡, 湯上浩雄, 寺田賢二郎, 川田達也
48	平成 21 年 12 月 17-18 日	第 18 回 SOFC 研究発表会 (東京)	SOFC 用材料の結晶構造と酸素不定比性の研究 - $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{Mg}_{0.15}\text{Co}_{0.05}\text{O}_{3-\delta}$ と $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ について -	橋本真一, 福田泰広, 中山翔太, 佐藤一永, 八代圭司, 水崎純一郎
49	平成 21 年 12 月 17-18 日	第 18 回 SOFC 研究発表会 (東京)	SOFC の信頼性・耐久性向上のための機械的解析	雨澤浩史, 佐藤一永, 車谷麻緒, 井口史匡, 島崎智実, 橋本真一, 渡辺智, 坂本正, 宇根本篤, 八代圭司, 寺田賢二郎, 橋田俊之, 水崎純一郎, 湯上浩雄, 久保百司, 川田達也
50	平成 22 年 1 月 12 日	The Fourth General Meeting of Asian Consortium on Computational Materials Science - Virtual Organization (Sendai, Japan)	Theoretical Study on Mechanical Property of Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) based on Molecular Dynamics Simulation	T. Matsuyama, M. Nakamura, T. Shimazaki, M. Kubo
51	平成 22 年 3 月 5-7 日	第 5 回固体イオニクスセミナー (岩沼)	電気化学的解析を用いた固体酸化物形燃料電池用 Ni-サーメット燃料極における劣化挙動評価	渡邊秀貴, 宇根本篤, 雨澤浩史, 川田達也
52	平成 22 年 3 月 5-7 日	第 5 回固体イオニクスセミナー (岩沼)	La-Sr-Co-O 系酸化物ヘテロ界面における酸素表面交換反応促進	平子俊哉, 長尾憲樹, 宇根本篤, 雨澤浩史, 川田達也
53	平成 22 年 3 月 5-7 日	第 5 回固体イオニクスセミナー (岩沼)	Investigation on Kinetic Demixing Phenomena of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-d}$	呉美瑛, 宇根本篤, 雨澤浩史, 川田達也
54	平成 22 年 3 月 13 日	日本機械学会東北支部第 44 期総会講演会 (仙台)	燃料極支持型 SOFC の性能特性に及ぼす GDC 電解質膜厚さの影響	丁常勝, 傳井美史, 井口真仁, 佐藤一永, 橋田俊之

55	平成22年3月24-25日	7th SYMPOSIUM ON FUEL CELL MODELING AND EXPERIMENTAL VALIDATION, Morges (Lausanne, Switzerland)	From Electrochemical to Mechanical Modeling of SOFC under Operation	T. Kawada, M. Kurumatani, K. Terada, S. Watanabe, S. Hashimoto, T. Sakamoto, A. Unemoto, K. Sato, F. Iguchi, K. Yashiro, K. Amezawa, M. Kubo, H. Yugami, T. Hashida, J. Mizusaki
56	平成22年3月29-31日	電気化学会第77回大会(富山)	LaGaO <sub>3</sub> 系ペロブスカイト型酸化物の高温欠陥平衡と熱力学安定性	中山翔太, 橋本真一, 佐藤一永, 八代圭司, 雨澤浩史, 水崎純一郎
57	平成22年3月29-31日	電気化学会第77回大会(富山)	Kinetic demixing of La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> Co <sub>0.2</sub> Fe <sub>0.8</sub> O <sub>3-d</sub> cathode material under oxygen chemical potential gradient	呉美瑛, 宇根本篤, 雨澤浩史, 川田達也
58	平成22年3月29-31日	電気化学会第77回大会(富山)	固体酸化物形燃料電池における粒界が機械特性に与える影響の計算科学シミュレーション	松山健男, 中村美穂, 尾澤伸樹, 島崎智実, 久保百司
59	平成22年3月29-31日	電気化学会第77回大会(富山)	La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> Co <sub>1-x</sub> Fe <sub>x</sub> O <sub>3-d</sub> の高温における熱的安定性と酸素不定比性	橋本真一, 福田泰広, 佐藤一永, 八代圭司, 水崎純一郎
60	平成22年3月29-31日	電気化学会第77回大会(富山)	SOFC電極材料の疑似運転下における微細構造観察	八代圭司, 呉屋祐喜, 佐藤一永, 水崎純一郎
61	平成22年3月29-31日	電気化学会第77回大会(富山)	液相法によるLaGaO <sub>3</sub> 系ペロブスカイト型酸化物の1000°C以下における生成相	モハマド アシュロル, 中山翔太, 橋本真一, 佐藤一永, 八代圭司, 水崎純一郎
62	平成22年4月19日	SOFC Symposium on Impacts of Analyses on Microstructures of SOFC Electrodes (Tokyo, Japan)	Multi-scale electro-chemo-mechanical simulation of a single cell under SOFC operation	K. Terada, T. Kawada, K. Amezawa, K. Yashiro, K. Sato, J. Mizusaki, T. Hashida, H. Yugami, F. Iguchi, M. Kubo, A. Unemoto, H. Watanabe, T. Ushida, H. Aoyagi, M. Kurumatani
63	平成22年5月2-6日	The 12th Asian Conference on Solid State Ionics (ACSSI-12) (Wuhan, China)	Kinetics of high temperature gas electrode reaction on solid oxide electrolyte	Junichiro Mizusaki
64	平成22年5月18日	IV European Congress on Computational Mechanics (Paris, France)	Electro-chemo-mechanical analysis of PEN structure under sofc operation	K. Terada, M. Kurumatani, T. Ushida, H. Aoyagi, T. Kawada, K. Sato, H. Watanabe
65	平成22年5月20日	日本コンピュータ化学会2010春季年会(東京)	固体酸化物形燃料電池(SOFC)における機械特性の粒界影響についての分子動力学計算	松山健男, 中村美穂, 尾澤伸樹, 島崎智実, 久保百司
66	平成22年5月28日	第15回計算工学講演会(福岡)	固体酸化物形燃料電池の物理・電気化学連成マルチスケール解析	青柳広樹, 牛田貴士, 車谷麻緒, 寺田賢二郎, 川田達也, 雨澤浩史, 八代圭司, 佐藤一永, 宇根本篤, 渡邊秀貴
67	平成22年6月14日	the ASME 2010 Eighth International Fuel Cell Science, Engineering and Technology Conference, (New York, USA)	High temperature mechanical properties of Ni-YSZ cermets for SOFC anode	Fumitada Iguchi, Hiromichi Kitahara, Hiroo Yugami
68	平成22年6月15日	The ASME 2010 8th International Fuel Cell Science, Engineering and Technology Conference (New York, USA)	Evaluation of Mechanical Properties of SOFC Components by Nanoindentation Tests	H. Ito, K. Sato, A. Unemoto, K. Amezawa, T. Kawada
69	平成22年6月15日	The ASME 2010 8th International Fuel Cell Science, Engineering and Technology Conference (New York, USA)	Development of In-Situ Mechanical Testing Method for SOFC Components	Satoshi Watanabe, Kazuhisa Sato, Yohei Takeyama, Fumitada Iguchi, Keiji Yashiro, Toshiyuki Hashida, Junichiro Mizusaki, Tatsuya Kawada

70	平成22年6月15日	The ASME 2010 8th International Fuel Cell Science, Engineering and Technology Conference (New York, USA)	The Effects of Oxygen Vacancy Concentration on the Mechanical Properties of Zirconia and Ceria-Based Electrolytes for SOFCs	Toshiyuki Hashida, Yohei Takeyama, and Kazuhisa Sato
71	平成22年6月21-23日	4th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics	Oxygen transport in high temperature electrodes for solid oxide fuel cells	T. Kawada, K. Amezawa, A. Unemoto, Y. Uchimoto
72	平成22年6月23日	13th International Conference on Theoretical Aspects of Catalysis (Sendai, Japan)	Molecular Dynamics Simulation for the Mechanical Property of Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)	T. Matsuyama, M. Nakamura, N. Ozawa, T. Shimazaki, M. Kubo
73	平成22年6月29-7月2日	European Fuel Cell Forum 2010	Durability and Reliability of a Mixed Conducting Cathode Interface under Operation	T. Kawada, M.-Y. Oh, A. Unemoto, K. Amezawa
74	平成22年8月15-20日	The 2010 Gordon Conference on Solid State Studies in Ceramics "Fundamental Phenomena in Energy Applications" (New London, USA)	Microstructure evolution of the cathode for solid oxide fuel cells under pseudo-operating condition	Keiji Yashiro, Yuki Goya, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki
75	平成22年8月15-20日	The 2010 Gordon Conference on Solid State Studies in Ceramics "Fundamental Phenomena in Energy Applications" (New London, USA)	Oxygen nonstoichiometry and crystal structure of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}\text{O}_{3-\delta}$ and $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$	Melanie Kuhn, Shin-ichi Hashimoto, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Junichiro Mizusaki
76	平成22年9月2-3日	2010年電気化学秋季大会	Thermal properties of perovskite-type $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$	申有哲, 宇根本篤, 雨澤浩史, 川田達也
77	平成22年9月2-3日	2010年電気化学秋季大会(厚木)	安定化ジルコニアの低温合成による安定相評価	湯山哲史, 水崎純一郎, 八代圭司, 佐藤一永, 橋本真一
78	平成22年9月2-3日	2010年電気化学秋季大会(厚木)	導電率緩和によるCo,Fe系ペロブスカイト型酸化物の電子導電率と酸化物イオンの拡散	中野一誠, 水崎純一郎, 八代圭司, 佐藤一永
79	平成22年9月5-7日	Asian SOFC Symposium (Kyoto, Japan)	Electrical Conductivity and Oxide Ion Diffusion in $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$ ( $y=0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ )	I. Nakano, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki
80	平成22年9月5-7日	Asian SOFC Symposium (Kyoto, Japan)	Microstructure evolution of electrodes for SOFC under pseudo-operating condition	Keiji Yashiro, Yuki Goya, Yoichi Nakagawa, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki
81	平成22年9月5-7日	Asian SOFC Symposium (Kyoto, Japan)	Degradation of Ni-GDC Cermet Anode under Electrochemical Redox Cycles	H. Watanabe, A. Unemoto, K. Amezawa, T. Kawada
82	平成22年9月5-7日	Asian SOFC Symposium (Kyoto, Japan)	Material stability of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ under SOFC operating conditions	M. Y. Oh, A. Unemoto, K. Amezawa, T. Kawada
83	平成22年9月5-7日	Asian SOFC Symposium (Kyoto, Japan)	Oxygen nonstoichiometry, crystalline structure and mechanical properties of $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Ga}_{0.2}\text{Mg}_{0.15}\text{Co}_{0.05}\text{O}_{3-d}$	S. Hashimoto, T. Kushi, S. Watanabe, K. Amezawa, T. Kawada, S. Nakayama, Mohd. Ashrol bin Haji Ini, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki
84	平成22年9月5-7日	Asian SOFC Symposium (Kyoto, Japan)	Development of In-situ Mechanical Properties Test for SOFC Components	S. Watanabe, Y. Takeyama, K. Sato, F. Iguchi, K. Yashiro, K. Amezawa, T. Hashida, J. Mizusaki, T. Kawada
85	平成22年9月5-9日	日本機械学会 2010年度年次大会(名古屋)	高温制御雰囲気下における $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ の機械的特性評価	木村勇太, 櫛拓人, 渡辺智, 佐藤一永, 宇根本篤, 雨澤浩史, 橋田俊之, 川田達也

86	平成 22 年 9 月 5-9 日	日本機械学会 2010 年度年次大会 (名古屋)	高温・制御雰囲気下における固体酸化物形燃料電池電解質材料の機械特性評価	楡拓人, 渡辺智, 佐藤一永, 井口史匡, 宇根本篤, 雨澤浩史, 橋田俊之, 湯上浩雄, 川田達也
87	平成 22 年 9 月 5-9 日	日本機械学会 2010 年度年次大会 (名古屋)	ナノインデンテーション試験によるジルコニア系電解質材料の機械特性評価	伊藤英彬, 佐藤一永, 宇根本篤, 雨澤浩史, 川田達也
88	平成 22 年 9 月 5-9 日	日本機械学会 2010 年度年次大会 (名古屋)	SOFC 構成要素評価のための雰囲気制御型材料試験装置の開発	渡辺智, 佐藤一永, 武山陽平, 鋤納伸治, 雨澤浩史, 橋田俊之, 川田達也
89	平成 22 年 9 月 13-15 日	資源・素材 2010 (福岡)	その場 X 線吸収分光法を用いたイオン導電性材料の局所・電子構造解析 (招待講演)	雨澤浩史, 伊奈稔哲, 折笠有基, 山田淳夫, 宇根本篤, 井口史匡, 福塚友和, 谷田肇, 宇留賀友哉, 寺田靖子, 湯上浩雄, 川田達也, 内本喜晴
90	平成 22 年 9 月 14-17 日	2010 年秋季第 71 回応用物理学学会学術講演会	固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の電極反応 (依頼講演)	雨澤浩史
91	平成 22 年 9 月 20-22 日	第 6 回固体イオニクスセミナー (八王子)	混合導電性酸化物の欠陥構造とバルク内拡散挙動	八代圭司
92	平成 22 年 9 月 20-22 日	第 6 回固体イオニクスセミナー (八王子)	層状ペロブスカイト酸化物 $Pr_{2-x}Sr_xNiO_{4-d}$ の酸素不定比性	堀哲也, 八代圭司, 佐藤一永, 水崎純一郎
93	平成 22 年 9 月 20-22 日	第 6 回固体イオニクスセミナー (八王子)	電気化学的酸化/還元サイクル, 再酸化試験環境下における Ni-GDC サーメット電極の劣化モード評価法の開発	渡邊秀貴, 宇根本篤, 雨澤浩史, 川田達也
94	平成 22 年 9 月 20-22 日	第 6 回固体イオニクスセミナー (八王子)	高速時間分解その場 XAS 測定を用いた SOFC カソード反応の解析	雨澤浩史, 伊奈稔哲, 折笠有基, 宇根本篤, 宇留賀朋哉, 谷田肇, 川田達也, 内本喜晴
95	平成 22 年 9 月 20-22 日	第 6 回固体イオニクスセミナー (八王子)	$La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-d}$ の高温機械特性	木村勇太, 楡拓人, 福田泰広, 宇根本篤, 渡辺智, 橋本真一, 佐藤一永, 八代圭司, 雨澤浩史, 橋田俊之, 川田達也, 水崎純一郎
96	平成 22 年 9 月 25-26 日	平成 22 年度化学系学協会東北大会 (盛岡)	X 線吸収分光法を用いた固体酸化物形燃料電池における電極反応のその場測定 (依頼公演)	雨澤浩史, 折笠有基, 伊奈稔哲, 宇根本篤, 井口史匡, 谷田肇, 宇留賀朋哉, 寺田靖子, 湯上浩雄, 川田達也, 内本喜晴
97	平成 22 年 10 月 6-7 日	Fuel Cells Science and Technology 2010, A Grove Fuel Cell Event (Zaragoza, Spain)	Oxygen nonstoichiometry dependence of the basic properties required for an SOFC cathode material in $La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{1-y}Fe_yO_{3-d}$ series	S. Hashimoto, Y. Kimura, K. Amezawa, T. Kawada, Y. Fukuda, I. Nakano, M. Kuhn, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki
98	平成 22 年 11 月 1-3 日	The 7th International Conference on Flow Dynamics (Sendai)	Thermal properties of perovskite-type $La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{1-x}Fe_xO_{3-d}$	S. Y. Cheol, A. Unemoto, K. Amezawa, T. Kawada
99	平成 22 年 11 月 1-3 日	The 7th International Conference on Flow Dynamics (Sendai)	Stability of $La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-d}$ for SOFC cathode a The 7th International Conference on Flow Dynamics	M. Y. Oh, A. Unemoto, K. Amezawa, T. Kawad
100	平成 22 年 11 月 18 日	第 30 回石油学会東北支部講演会—燃料電池研究最前線「私の考える、これからの燃料電池研究」 (仙台)	固体酸化物形燃料電池の研究におけるその場計測技術の開発 (招待講演)	雨澤浩史
101	平成 22 年 11 月 24-26 日	第 36 回固体イオニクス討論会 (仙台)	Co 価数変化が与える $La_{0.8}Sr_{0.2}Ga_{0.8}Mg_{0.2-x}Co_xO_{3-d}$ ( $x = 0, 0.05$ ) の酸素不定比性・格子定数への影響	中山翔太, 橋本真一, 佐藤一永, 八代圭司, 雨澤浩史, 水崎純一郎
102	平成 22 年 11 月 24-26 日	第 36 回固体イオニクス討論会 (仙台)	酸素分圧勾配下の $La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-d}$ におけるカチオン輸送	呉美瑛, 宇根本篤, 雨澤浩史, 川田達也

103	平成 22 年 11 月 24-26 日	第 36 回固体イオニクス討論会 (仙台)	高速時間分解その場 XAS 測定 を用いた SOFC カソード反応の 解析	雨澤浩史, 伊奈稔哲, 折笠有 基, 宇根本篤, 宇留賀朋哉, 谷田肇, 川田達也, 内本喜晴
104	平成 22 年 11 月 24-26 日	第 36 回固体イオニクス討論会 (仙台)	Ni-サーメット燃料極の新規劣 化モード評価手法の開発	渡邊秀貴, 宇根本篤, 雨澤浩 史, 川田達也
105	平成 22 年 11 月 24-26 日	第 36 回固体イオニクス討論 会(仙台)	La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> CoO <sub>3-δ</sub> と La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> FeO <sub>3-δ</sub> の酸素不定 比性と結晶構造	クーン メラニー, 橋本真一, 佐藤一永, 八代圭司, 水崎純 一郎
106	平成 22 年 11 月 24-26 日	第 36 回固体イオニクス討論 会(仙台)	ペロブスカイト型酸化物 (La, Sr)(Co, Fe)O <sub>3</sub> の酸化物イ オン拡散と欠陥構造	中野一誠, 佐藤一永, 八代圭 司, 水崎純一郎
107	平成 22 年 9 月 20-22 日	第 6 回固体イオニクスセミナー (八王子)	層状ペロブスカイト酸化物 Pr <sub>2-x</sub> Sr <sub>x</sub> NiO <sub>4+d</sub> の酸素不定比性	堀哲也, 八代圭司, 佐藤一 永, 水崎純一郎
108	平成 22 年 11 月 24-26 日	第 36 回固体イオニクス討論 会(仙台)	液相法を用いた LaGaO <sub>3</sub> 系酸化 物の結晶相の研究	橋本真一, Mohd. Ashrol bin Haji Ini, 中山翔太, 佐藤一 永, 八代圭司, 水崎純一郎
109	平成 22 年 11 月 24-26 日	第 36 回固体イオニクス討論 会(仙台)	低温合成を用いた安定化ジル コニアの安定相評価	湯山哲史, 八代圭司, 水崎純 一郎, 川田達也, 山地克彦, 岸本治夫, Manuel E. Brito, 堀田照久, 横川晴美, 島津め ぐみ, 樋渡研一
110	平成 22 年 11 月 24-26 日	第 36 回固体イオニクス討論会 (仙台)	固体酸化物燃料電池用空気極 材料の高温機械特性 第 36 回固体イオニクス討論会	木村勇太, 榎拓人, 橋本真一, 渡辺智, 雨澤浩史, 川田達也, 福田泰広, 宇根本篤, 佐藤一 永, 八代圭司, 水崎純一郎, 橋田俊之
111	平成 22 年 12 月 16-17 日	第 19 回 SOFC 研究会発表会(東 京)	SOFC の機械的信頼性・耐久性 向上のための材料物性評価	八代圭司, 佐藤一永, 井口史 匡, 島崎智実, 尾崎伸樹, 橋 本真一, 渡辺智, 坂本正, 雨 澤浩史, 寺田賢二郎, 久保百 司, 橋田俊之, 湯上浩雄, 水 崎純一郎, 川田達也
112	平成 22 年 12 月 16-17 日	第 19 回 SOFC 研究会発表会(東 京)	SOFC 動作環境下における燃料 極 Ni-YSZ の機械的特性評価	渡辺智, 鋤納伸治, 北原大道, 佐藤一永, 井口史匡, 八代圭 司, 雨澤浩史, 水崎純一郎, 湯上浩雄, 橋田俊之, 川田達 也
113	平成 22 年 12 月 16-17 日	第 19 回 SOFC 研究会発表会(東 京)	SOFC 作動条件下における空気 極材 LSCF の基礎物性とその相 関	橋本真一, 木村勇太, 申有哲, 渡辺智, 雨澤浩史, 川田達也, Melanie Kuhn, 中野一誠, 福 田泰広, 佐藤一永, 八代圭司, 水崎純一郎
114	平成 22 年 12 月 16-17 日	第 19 回 SOFC 研究会発表会(東 京)	固体酸化物形燃料電池解質材 料の相安定性と機械特性	榎拓人, 湯上哲史, 中山翔太, 渡辺智, 橋本真一, 佐藤一永, 井口史匡, 八代圭司, 雨澤浩 史, 湯上浩雄, 水崎純一郎, 川田達也
115	平成 23 年 3 月 9-11 日	5th International Symposium on Environment, Energy and Materials (Kyoto, Japan)	Mechanical properties of SOFC components	Koji Amezawa, Takuto Kushi, Hideaki Ito, Kazuhisa Sato, Tatsuya Kawada
116	平成 23 年 3 月 9-11 日	5th International Symposium on Environment, Energy and Materials (Kyoto, Japan)	High temperature mechanical properties of cathode materials for solid oxide fuel cell	Yuta Kimura, Takuto Kushi, Sin-ichi Hashimoto, Satoshi Watanabe, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada, Yasuhiro Fukuda, Atsushi Unemoto, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Junichiro Mizusaki, Toshiyuki Hashida

117	平成 23 年 3 月 28-30 日	資源・素材学会平成 23 年度春季大会 (東京)	Thermal properties of perovskite-type $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-d}$	YuCheol Shin, Atsushi Unemoto, Shin-Ichi Hashimoto, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada
118	平成 23 年 3 月 29-31 日	電気化学会第 78 回大会 (横浜)	in situ マイクロ XAS 法を用いた SOFC 空気極/電解質界面における酸素ポテンシャル分布評価	雨澤浩史, 伊奈稔哲, 中尾孝之, 折笠有基, 宇根本篤, 井口史匡, 寺田靖子, 川田達也, 湯上浩雄, 内本喜晴
119	平成 23 年 3 月 29-31 日	電気化学会第 78 回大会 (横浜)	固体酸化物形燃料電池用材料 Gd doped $\text{CeO}_2$ の機械的特性と酸素不定比性	橋本真一, 榑拓人, 佐藤一永, 川田達也, 雨澤浩史
120	平成 23 年 3 月 29-31 日	電気化学会第 78 回大会 (横浜)	固体酸化物形燃料電池用空気極材 LSM の高温における機械的特性評価	白井良和, 木村勇太, 榑拓人, 橋本真一, 佐藤一永, 雨澤浩史, 川田達也
121	平成 23 年 3 月 29-31 日	電気化学会第 78 回大会 (横浜)	Ni-GDC サーメット燃料極の有効反応層評価手法の検証	渡邊秀貴, 橋本真一, 雨澤浩史, 川田達也
122	平成 23 年 3 月 29-31 日	電気化学会第 78 回大会 (横浜)	(La, Sr) (Co, Fe)O <sub>3</sub> の酸化物イオン拡散と導電特性	中野一誠, 福田泰広, Melanie Kuhn, 佐藤一永, 八代圭司, 水崎純一郎
123	平成 23 年 3 月 29-31 日	電気化学会第 78 回大会 (横浜)	安定化ジルコニアの低温相評価	八代圭司, 湯山哲史, 佐藤一永, 水崎純一郎
124	平成 23 年 3 月 29-31 日	電気化学会第 78 回大会 (横浜)	層状ペロブスカイト酸化物 $\text{Pr}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4+\delta}$ カソード電極における電気化学特性と熱力学的安定性	堀哲也, 森義浩, 佐藤一永, 八代圭司, 水崎純一郎
125	平成 23 年 5 月 1-6 日	219th ECS Meeting (Montreal, Canada)	Electrical Conductivity and oxygen diffusivity of perovskite-type solid solution $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$ (Y=0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8)	Keiji Yashiro, Issei Nakano, Melanie Kuhn, Shiinichi Hashimoto, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki
126	平成 23 年 5 月 1-6 日	219th ECS Meeting (Montreal, Canada)	Oxygen nonstoichiometry and defect equilibrium of perovskite-type $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$ (Y=0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1) SOFC cathode materials	Melanie Kuhn, Yasuhiro Fukuda, Shin-ichi Hashimoto, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Junichiro Mizusaki
127	平成 23 年 5 月 2-6 日	12th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (Montreal, Canada)	Mechanical Properties of $\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{2-d}$ at High Temperatures under Controlled Atmospheres.	T. Kushi, K. Sato, A. Unemoto, K. Amezawa, T. Kawada
128	平成 23 年 5 月 2-6 日	12th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (Montreal, Canada)	Material Stability and Cation Transport of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ in SOFC Cathode Conditions.	M. Oh, A. Unemoto, K. Amezawa, T. Kawada
129	平成 23 年 5 月 2-6 日	12th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (Montreal, Canada)	Mechanical Properties of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$ under Various Temperatures and Oxygen Partial Pressures.	Y. Kimura, T. Kushi, S. Hashimoto, S. Watanabe, K. Amezawa, T. Kawada, Y. Fukuda, A. Unemoto, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, T. Hashida
130	平成 23 年 5 月 2-6 日	12th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (Montreal, Canada)	In situ Observation of the Deformation and Mechanical Damage of SOFC Cell/Stack.	K. Sato, T. Sakamoto, A. Kaimai, K. Yashiro, K. Amezawa, T. Hashida, J. Mizusaki, T. Kawada
131	平成 23 年 5 月 2-6 日	12th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (Montreal, Canada)	Multiscale Simulation of Electro-Chemo-Mechanical Coupling Behavior of PEN Structure under SOFC Operation.	K. Terada, T. Kawada, K. Sato, F. Iguchi, K. Yashiro, K. Amezawa, M. Kubo, H. Yugami, T. Hashida, J. Mizusaki, H. Watanabe, H. Aoyagi, K. Takahashi

132	平成23年6月3日	219th ECS meeting, (Montreol, Canada)	In situ Observation of Deformation and Mechanical damage of SOFC Cell/stack	Kazuhisa Sato, Tadashi Sakamoto, Atsushi Kaimai, Keiji Yashiro, Koji Amezawa, Toshiyuki Hashida, Junichiro Mizusaki, Tastyua Kawada
133	平成23年5月25-27日	第16回計算工学講演会(柏)	SOFCにおける電気化学・力学現象の連成数値シミュレーション	青柳広樹, 寺田賢二郎, 川田達也, 八代圭司, 佐藤一永, 雨澤浩史, 水崎純一郎, 湯上浩雄, 井口史匡, 久保百司, 渡邊秀貴
134	平成23年6月27日	固体化学の新しい指針を探る研究会第68回定例研究会(東京)	その場 X線吸収分光法を用いた遷移金属酸化物の高温・制御雰囲気下における電子・局所構造評価	雨澤浩史
135	平成23年7月3日	18th International Conference on Solid State Ionics (SSI-18), (Warsaw, Poland)	Effect of Uniaxial Stress on Conductivities of Ionic and Mixed Conductor	Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Toshiyuki Hashida, Junichiro Mizusaki, Tastyua Kawada
136	平成23年7月3-8日	18th International Conference on Solid State Ionics (Warsaw, Poland)	Development of evaluation techniques on effective reaction zone of Ni-GDC cermet anode.	Hidetaka Watanabe, Shin-ichi Hashimoto, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada
137	平成23年7月3-8日	18th International Conference on Solid State Ionics (Warsaw, Poland)	Investigation on SOFC Cathodic reaction by using time-resolved in-situ X-ray absorption spectroscopy.	Koji Amezawa, Toshiaki Ina, Yuki Orikasa, Atsushi Unemoto, Tomoya Uruga, Hajime Tanida, Tatsuya Kawada, Yoshiharu Uchimoto
138	平成23年7月3-8日	18th International Conference on Solid State Ionics (SSI-18), Poland, Warsaw	ELECTROCHEMICAL PROPERTIES AND THERMODYNAMIC STABILITY OF Pr <sub>2-x</sub> Sr <sub>x</sub> NiO <sub>4+δ</sub> CATHODES	Tetsuya Hori, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki
139	平成23年7月3-8日	18th International Conference on Solid State Ionics (SSI-18) (Warsaw, Poland)	ELECTRONIC CONDUCTIVITY OF COBALT DOPED LANTHANUM GALLATE BY MODIFIED HEBB-WAGNER TECHNIQUE	Yuta Fujiwara, Shota Nakayama, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Junichiro Mizusaki
140	平成23年7月3-8日	18th International Conference on Solid State Ionics (SSI-18) (Warsaw, Poland)	LOW TEMPERATURE PHASE FORMATION STUDY OF LaGaO <sub>3</sub> BASED OXIDES USING LIQUID-PHASE SYNTHESIS	Shinich Hashimoto, Mohd. Ashrol bin Haji Ini, Shota Nakayama, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Junichiro Mizusaki
141	平成23年7月3-8日	18th International Conference on Solid State Ionics (SSI-18) (Warsaw, Poland)	STABLE PHASES OF YTTRIA STABILIZED ZIRCONIA AT LOWER TEMPERATURE THAN 1273 K	Keiji Yashiro, Satoshi Yuyama, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki
142	平成23年9月4-6日	第7回固体イオニクスセミナー(氷見)	XAFS だからわかるイオニクスの不思議(依頼公演)	雨澤浩史
143	平成23年9月4-6日	第7回固体イオニクスセミナー(氷見)	La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> Co <sub>1-y</sub> FeyO <sub>3-d</sub> の高温機械特性	木村勇太, 櫛拓人, 橋本真一, 雨澤浩史, 川田達也, 福田泰広, 宇根本篤, 八代圭司, 水崎純一郎
144	平成23年9月7日	International Workshop on For Better Understanding of Degradation of SOFCs, (Tokyo, JAPAN)	NEDO investigation on Mechanical Instabilities	Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Koji Amezawa, Toshiyuki Hashida, Junichiro Mizusaki, Tastyua Kawada
145	平成23年9月7日	The 4th FRRI International Workshop on Environmental Degradation of Materials and Proactive Aging Management (Sendai, JAPAN)	In situ Observation of Deformation and Mechanical Damage of Solid Oxide Fuel Cells	Kazuhisa Sato, Toshiyuki Hashida
146	平成23年9月	日本セラミックス協会第24回	SOFC 材料の酸素不定比性と機	川田達也, 渡辺智, 橋本真一,

	月 7-9 日	秋季シンポジウム (札幌)	械的信頼性への影響	雨澤浩史
147	平成 23 年 9 月 9-11 日	2011 年電気化学会秋季大会 (新潟)	Influence of oxygen nonstoichiometry change on thermal diffusivities of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-d}$ .	申有哲, 宇根本篤, 橋本真一, 雨澤浩史, 川田達也
148	平成 23 年 9 月 9-11 日	2011 年電気化学会秋季大会 (新潟)	$\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-d}$ 緻密薄膜電極における酸素交換反応	李シンシン, 宇根本篤, 橋本真一, 雨澤浩史, 川田達也
149	平成 23 年 9 月 9-11 日	2011 年電気化学会秋季大会 (新潟)	Electrochemical Oxygen Reduction Process on $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_3$ Electrode.	R. A. Budiman, S. Hashimoto, K. Amezawa, T. Kawada
150	平成 23 年 9 月 9-11 日	2011 年電気化学会秋季大会 (新潟)	高温作動環境下における SOFC 空気極材料 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_{3+d}$ の機械的特性評価	白井良和, 木村勇太, 榎拓人, 橋本真一, 佐藤一永, 八代圭司, 雨澤浩史, 水崎純一郎, 川田達也
151	平成 23 年 9 月 9-11 日	2011 年電気化学会秋季大会 (新潟)	GDC/Ni-GDC 積層電極の作製と同電極の炭素析出挙動と燃焼挙動	上田光平, 渡邊秀貴, 橋本真一, 雨澤浩史, 川田達也
152	平成 23 年 9 月 9-11 日	2011 年電気化学会秋季大会 (新潟)	$\text{Ln}_2\text{NiO}_{4+d}$ (Ln=Nd, La) の機械的特性	升光智久, 伊藤英彬, 榎拓人, 橋本真一, 雨澤浩史, 川田達也
153	平成 23 年 9 月 11 日-16 日	62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (Niigata, Japan)	Mechanical Properties of Stabilized Zirconia under SOFC Operation Conditions.	T. Kushi, Y. Kimura, K. Sato, F. Iguchi, A. Unemoto, S. Hashimoto, K. Amezawa, H. Yugami, T. Kawada
154	平成 23 年 9 月 11 日-16 日	62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (Niigata, Japan)	Thermal and chemical lattice change of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-d}$ .	S. Hashimoto, Y. Fukuda, M. Kuhn, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, Y. Kimura, K. Amezawa, T. Kawada
155	平成 23 年 9 月 11 日-16 日	62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (Niigata, Japan)	Simplified Method for Evaluation of Effective Reaction Zone in Ni-GDC Cermet Anode for SOFC.	H. Watanabe, S. Hashimoto, K. Amezawa, T. Kawada
156	平成 23 年 9 月 11 日-16 日	62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (Niigata, Japan)	Chemical stabilities of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-d}$ as an SOFC cathode.	M.-Y. Oh, A. Unemoto, S. Hashimoto, K. Amezawa, T. Kawada
157	平成 23 年 9 月 11 日-16 日	62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (Niigata, Japan)	Effect of Temperature and Oxygen Partial Pressure on Mechanical Properties of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-d}$ .	Y. Kimura, T. Kushi, S. Hashimoto, S. Watanabe, K. Amezawa, T. Kawada, Y. Fukuda, A. Unemoto, K. Yashiro, J. Mizusaki, K. Sato, T. Hashida
158	平成 23 年 9 月 11 日-16 日	Renewable Energy and Materials Tailoring (Kyoto, Japan)	Mechanical Properties of Ceramics for Solid Oxide Fuel Cells.	K. Amezawa, T. Kushi, Y. Kimura, H. Ito, K. Sato, S. Watanabe, A. Unemoto, S. Hashimoto, T. Kawada
159	平成 23 年 9 月 20 日	第 21 回格子欠陥フォーラム (立山)	固体酸化物形燃料電池のその場計測技術 (招待講演)	雨澤浩史
160	平成 23 年 10 月 2 日	日本表面科学会東北・北海道支部 2011 年度市民講座 (仙台)	燃料電池の実用化はどこまですすんだか (依頼公演)	雨澤浩史
161	平成 23 年 10 月 16-20 日	Materials Science & Technology 2010 Conference & Exhibition (Huston, USA)	Relationship between Mechanical and Defect Chemical Properties of Oxide Ceramics	Tatsuya Kawada, Yuta Kimura, Takuto Kushi, Junya Amada, Sin-ichi Hashimoto, Koji Amezawa
162	平成 23 年 10 月 19-26 日	Low Carbon Earth Summit 2011 (Dalian, China)	Challenges for Lowering Operation Temperature of SOFC	Keiji Yashiro
163	平成 23 年 12 月 7-9 日	第 36 回固体イオニクス討論会 (鳥取)	酸化物の局所酸素ポテンシャルに及ぼす機械的応力の効果	升光智久, 渡辺智, 橋本真一, 雨澤浩史, 川田達也
164	平成 23 年 12 月 7-9 日	第 36 回固体イオニクス討論会 (鳥取)	$\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_3$ 空気極における電極反応過程の研究	R. A. Budiman, 橋本真一, 雨澤浩史, 川田達也

165	平成 23 年 12 月 7-9 日	第 36 回固体イオニクス討論会 (鳥取)	$\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$ の弾性 率に対する酸素不定性および 相転移の影響	木村勇太, 榑拓人, 渡辺智, 橋本真一, 雨澤浩史, 川田達 也, 宇根本篤, 八代圭司, 水崎純一郎, 佐藤 一永, 橋田俊之
166	平成 23 年 12 月 7-9 日	第 37 回固体イオニクス討論 会(鳥取)	(La, Sr) (Co, Fe)O <sub>3</sub> 系酸化物の バルク内物質輸送および熱力 学的解析	八代圭司, 中野一誠, 棚橋辰 之, Kuhn Melanie, 福田泰広, 橋本真一, 佐藤一永, 水崎純 一郎
167	平成 23 年 12 月 7-9 日	第 37 回固体イオニクス討論 会(鳥取)	層状ペロブスカイト酸化物 $\text{Pr}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4+\delta}$ 電極の電気化 学特性と熱化学的安定性	堀哲也, 八代圭司, 水崎純一 郎
168	平成 23 年 12 月 12-13 日	第 20 回 SOFC 研究発表会(東京)	SOFC の機械的信頼性・耐久性 向上に向けたその場観察手法 開発	井口史匡, 佐藤一永, 島崎知 実, 尾澤伸樹, 寺田賢二郎, 橋田俊之, 湯上浩雄, 八代圭司, 坂本正, 宇根本篤, 水崎純一郎, 橋本 真一, 渡辺智, 雨澤浩史, 川 田達也
169	平成 23 年 12 月 12-13 日	第 20 回 SOFC 研究発表会(東京)	その場 XAFS 測定を用いた SOFC 多孔質カソードにおける酸素 ポテンシャル評価	藤巻義信, 渡邊秀貴, 橋本真 一, 雨澤浩史, 川田達也, 寺 田靖子
170	平成 23 年 12 月 12-13 日	第 20 回 SOFC 研究発表会(東京)	Thermal diffusivities of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ perovskite-oxides at high temperatures under controlled atmospheres	申有哲, 宇根本篤, 橋本真一, 雨澤浩史, 川田 達也
171	平成 23 年 12 月 12-13 日	第 20 回 SOFC 研究発表会(東 京)	(La, Sr) (Co, Fe)O <sub>3</sub> の化学拡散 と空孔拡散	工藤ほなみ, 中野一誠, 佐藤 一永, 八代圭司, 水崎純一郎
172	平成 23 年 12 月 15 日	The 2nd International Symposium of Environmental Leader (Ho Chi Minh, Vietnam)	In-situ Evaluation of Oxygen Chemical Potential in an SOFC Cathode.	Yoshinobu Fujimaki, Hidetaka Watanabe, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada, Yasuko Terada
173	平成 24 年 3 月 29-31 日	電気化学会第 79 回大会(浜 松)	層状ペロブスカイト酸化物 $\text{Pr}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4+\delta}$ の固体酸化物 形燃料電池への応用に向けた 材料特性	堀 哲也, 八代圭司, 水崎純一 郎
174	平成 24 年 3 月 29-31 日	電気化学会第 79 回大会(浜 松)	ペロブスカイト型酸化物(La, Sr) (Co, Fe)O <sub>3</sub> の酸素輸送過程	工藤ほなみ, 中野一誠, 八代圭 司, 水崎純一郎
175	平成 24 年 6 月 6 日	the 221st ECS Meeting ( : Ionic and Mixed Conducting Ceramics 8) (Seattle, USA)	Compositional and Mechanical Stabilities of a (La, Sr) (Co, Fe)O <sub>3</sub> - $\delta$ Cathode under SOFC Operation	T. Kawada, S. Hashimoto, and K. Amezawa
176	平成 24 年 6 月 26-29 日	10th European SOFC Forum 2012(Luceme, Switzerland)	Thermal diffusivities of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$ at high temperatures under controlled atmospheres	YuCheol Shin (1), Atsushi Unemoto (2), Shin-ichi Hashimoto (3), Koji Amezawa (2), Tatsuya Kawada (1),
177	平成 24 年 7 月 18-20 日	The 13th Asian Conference on Solid State Ionics(Sendai, Japan)	EFFECTS OF A PHASE TRANSITION AND OXYGEN NONSTOICHIOMETRY ON ELASTIC MODULUS OF $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$	Y. Kimura, T. Kushi, S. Hashimoto, K. Yashiro, J. Mizusaki, K. Amezawa, T. Kawada
178	平成 24 年 7 月 23-26 日	the ASME 2012 6th International Conference on Energy Sustainability & 10th Fuel Cell Science, Engineering and Technology Conference ESFuelCell2012(San Diego)	THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN EVALUATION SYSTEM FOR REDOX CHARACTERISTICS OF ANODE SUPPORTED SOFCs USING IN-SITU ACOUSTIC EMISSION AND ELECTROCHEMICAL TECHNIQUE	S. Hashimoto, H. Watanabe, T. Sakamoto, T. Kawada, K. Yashiro, J. Mizusaki, K. Kumada, D. Changsheng, K. Sato, T. Hashida

—論文—

No.	年月	発表先	題目	発表者
-----	----	-----	----	-----

1	平成 20 年	Materials Science and Engineering: B, 148, pp. 73-76 (2008)	Preparation of SDC electrolyte thin films on dense and porous substrates by modified sol-gel route	林宏飛, 丁常勝, 佐藤一永, 傳井美史, 大滝浩通, 井口真仁, 和田千春, 橋田俊之 Hongfei Lin, Changsheng Ding, Kazuhisa Sato, Yoshifumi Tsutai, Hiromichi Ohtaki, Mabito Iguchi, Chiharu Wada, Toshiyuki Hashida
2	平成 20 年	World Journal of Engineering, 5, pp. 344-345 (2008)	Synthesis of perovskite LSCF powders by citrate gel-combustion for SOFCs applications	林宏飛, 丁常勝, 佐藤一永, 傳井美史, 井口真仁, 橋田俊之 Hongfei Lin, Changsheng Ding, Kazuhisa Sato, Yoshifumi Tsutai, Mabito Iguchi, Toshiyuki Hashida
3	平成 21 年	Solid State Ionics, 180, pp. 1220-1225 (2009)	Effect of $Y_2O_3$ addition on the conductivity and elastic modulus of $(CeO_2)_{1-x}(YO_{1.5})_x$	Kazuhisa Sato, Ken Suzuki, Keiji Yashiro, Tatsuya Kawada, Hiroo Yugami, Toshiyuki Hashida, Alan Atkinson, Junichiro Mizusaki
4	平成 21 年 10 月	ECS Transactions, 25(2), pp. 467-472 (2009)	Classification of Mechanical Failure in SOFC and Strategy for Evaluation of Operational Margin	T. Kawada, S. Watanabe, S. Hashimoto, T. Sakamoto, A. Unemoto, M. Kurumatani, K. Sato, F. Iguchi, K. Yashiro, K. Amezawa, K. Terada, M. Kubo, H. Yugami, T. Hashida, J. Mizusaki
5	平成 21 年 10 月	ECS Transactions, 25(2), pp. 345-348 (2009)	Investigation on Oxygen Potential Distribution in a $ZrO_2$ -Based Solid Electrolyte by Using In-Situ Micro XAS Technique	K. Amezawa, T. Ina, Y. Orikasa, A. Unemoto, H. Watanabe, F. Iguchi, Y. Terada, T. Fukutsuka, T. Kawada, H. Yugami, Y. Uchimoto
6	平成 21 年 10 月	ECS Transactions, 25(2), pp. 1673-1677 (2009)	Investigation of High Temperature Elastic Modulus and Internal Friction of SOFC Electrolytes Using Resonance Method	T. Kushi, K. Sato, A. Unemoto, K. Amezawa, T. Kawada
7	平成 21 年 10 月	ECS Transactions, 25(2), pp. 1939-1944 (2009)	Electrochemical Analysis on Degradation in Ni-GDC Cermet Anode for SOFC	H. Watanabe, A. Unemoto, K. Amezawa, T. Kawada
8	平成 21 年 10 月	ECS Transactions, 25(2), pp. 2573-2580 (2010)	High-Temperature Defect and Crystal Structure of Perovskite Type Oxide Ion Conductor $La_{0.8}Sr_{0.2}Ga_{0.8}Mg_{0.15}Co_{0.05}O_{3-\delta}$	Shota Nakayama, Shin-ichi Hashimoto, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Koji Amezawa, Junichiro Mizusaki
9	平成 21 年 10 月	ECS Transactions, 25(2), pp. 2573-2580 (2009)	High Temperature Defect Equilibrium, Solid State Properties and Crystal Structure of $La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{1-y}Fe_yO_{3-\delta}$ ( $y=0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ) for Cathode of Solid Oxide Fuel Cells	Yasuhiro Fukuda, Shin-ichi Hashimoto, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Junichiro Mizusaki
10	平成 21 年 10 月	ECS Transactions, 25(2), pp. 2573-2580 (2009)	Oxygen Nonstoichiometry, Crystal Structure, and Mechanical Properties of $La_2NiO_{4+\delta}$	Takashi Nakamura, Yohei Takeyama, Satoshi Watanabe, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Toshiyuki Hashida, Junichiro Mizusaki

11	平成 22 年	Solid State Ionics, 181, pp. 292-299 (2010)	Structural analysis of $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4+\delta}$ by high temperature X-ray diffraction	Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki
12	平成 22 年	Solid State Ionics, 181, pp. 402-411 (2010)	Thermally-induced and chemically-induced structural changes in layered perovskite-type oxides $\text{Nd}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4+\delta}$ ( $x = 0, 0.2, 0.4$ )	Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki
13	平成 22 年	Journal of Power Sources, Vol. 195, No. 17, p. 5487-5492 (2010)	Effect of thickness of $\text{Gd}_{0.1}\text{Ce}_{0.9}\text{O}_{1.95}$ electrolyte films on electrical performance of anode-supported solid oxide fuel cells	Changsheng Ding, Hongfei Lin, Kazuhisa Sato, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada, Junichiro Mizusaki, Toshiyuki Hashida
14	平成 22 年 7 月	Materials Chemistry and Physics, 122(1), 250-258 (2010)	Electrical conductivity, Seebeck coefficient, and defect structure of oxygen nonstoichiometric $\text{Nd}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4+\delta}$	Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki
15	平成 22 年	Journal of Power Sources, 195, (2010), 5481-5486	Fracture process of nonstoichiometric oxide based solid oxide fuel cell under oxidizing/reducing gradient conditions	Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Tatsuya Kawada, Hiroo Yugami, Toshiyuki Hashida, Junichiro Mizusaki
16	平成 23 年	ECS Transactions, 35(1), (2011), 1473-1482	Effect of Redox Cycling on Mechanical Properties of Ni-YSZ Cermets for SOFC Anodes	S. Sukino, S. Watanabe, K. Sato, T. Kawada, J. Mizusaki, and T. Hashida
17	平成 23 年	Journal of Power Sources, Vol. 196, pp. 7989-7993 (2011)	Elastic Modulus and Internal Friction of SOFC Electrolytes at High Temperatures under Controlled Atmospheres.	Takuto Kushi, Kazuhisa Sato, Atsushi Unemoto, Shinichi Hashimoto, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada
18	平成 23 年	ECS Transactions, 35(1), (2011), 225-229	In situ Observation of the Deformation and Mechanical Damage of SOFC Cell/Stack	K. Sato, T. Sakamoto, A. Kaimai, K. Yashiro, K. Amezawa, T. Hashida, J. Mizusaki, and T. Kawada
19	平成 22 年 12 月	Solid State Ionics, 181 (37-38), 1713-1719 (2010)	Oxygen nonstoichiometry and thermo-chemical stability of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$ ( $y = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ )	Shin-ichi Hashimoto, Yasuhiro Fukuda, Melanie Kuhn, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Junichiro Mizusaki
20	平成 23 年 2 月	Solid State Ionics, 186, 37-43 (2011)	Thermal and chemical lattice expansibility of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$ ( $y = 0.2, 0.4, 0.6$ and $0.8$ )	Shin-ichi Hashimoto, Yasuhiro Fukuda, Melanie Kuhn, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Junichiro Mizusaki
21	平成 23 年 5 月	ECS Transactions, 35(1), 1881-1890 (2011)	Oxygen nonstoichiometry and defect equilibrium of perovskite-type $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$ ( $Y = 0, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1$ ) SOFC cathode materials	Melanie Kuhn, Yasuhiro Fukuda, Shin-ichi Hashimoto, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Junichiro Mizusaki
22	平成 23 年 5 月	ECS Transactions, 35(1), 1899-1907 (2011)	Electrical Conductivity and oxygen diffusivity of perovskite-type solid solution $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$ ( $Y = 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8$ )	Keiji Yashiro, Issei Nakano, Melanie Kuhn, Shinichi Hashimoto, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki

23	平成 23 年 5 月	Solid State Ionics, 195, 7-15 (2011)	Oxygen nonstoichiometry, thermo-chemical stability and lattice expansion of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_{3-\delta}$	M. Kuhn, S. Hashimoto, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki
24	平成 23 年	日本機械学会論文集 A 編, 77 巻, 780 号, pp. 1357-1366 (2011)	高温・酸化/還元環境下における機械的特性評価法の開発	渡辺 智, 佐藤 一永, 武山陽平, 井口 史匡, 八代 圭司, 雨澤 浩史, 湯上 浩雄, 橋田 俊之, 水崎 純一郎, 川田 達也
25	平成 23 年	Solid State Ionics, Vol. 198, No. 1, pp. 32-38 (2011)	Elastic Moduli of $\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{2-d}$ at High Temperatures under Controlled Atmospheres.	Koji Amezawa, Takuto Kushi, Kazuhisa Sato, Atsushi Unemoto, Shin-ichi Hashimoto, Tatsuya Kawada
26	平成 23 年	Electrochemical Society Transactions, Vol. 35, No. 1, 1145-1149 (2011)	Mechanical Properties of $\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{CeO}_{2-d}$ at High Temperatures under Controlled Atmospheres.	T. Kushi, K. Sato, A. Unemoto, K. Amezawa, and T. Kawada
27	平成 23 年	Electrochemical Society Transactions, Vol. 35, No. 1, 2249-2253 (2011).	Material Stability and Cation Transport of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-d}$ in SOFC Cathode Conditions.	M. Oh, A. Unemoto, K. Amezawa, and T. Kawada
28	平成 23 年	Electrochemical Society Transactions, Vol. 35, No. 1, 2429-2934 (2011).	Mechanical Properties of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-d}$ under Various Temperatures and Oxygen Partial Pressures.	Y. Kimura, T. Kushi, S. Hashimoto, S. Watanabe, K. Amezawa, T. Kawada, Y. Fukuda, A. Unemoto, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, and T. Hashida
29	平成 23 年	Electrochemical Society Transactions, Vol. 35, No. 1, 923-933 (2011).	Multiscale Simulation of Electro-Chemo-Mechanical Coupling Behavior of PEN Structure under SOFC Operation. i	K. Terada, T. Kawada, K. Sato, F. Iguchi, K. Yashiro, K. Amezawa, M. Kubo, H. Yugami, T. Hashida, J. Mizusaki, H. Watanabe, H. Aoyagi, and K. Takahashi
30	平成 23 年	日本機械学会論文集 A 編, Vol. 77, No. 780 (2011), pp. 1357-1366.	高温・酸化/還元環境下における機械的特性評価法の開発	渡辺 智, 佐藤 一永, 武山陽平, 井口 史匡, 八代 圭司, 雨澤 浩史, 湯上 浩雄, 橋田 俊之, 水崎 純一郎, 川田 達也
31	平成 24 年	日本機械学会論文集 A 編, Vol. 78, No. 787 (2012), pp. 349-360.	SOFC 動作環境中における燃料極 Ni-YSZ サーマットの機械特性評価	渡辺 智, 佐藤 一永, 鋤納伸治, 井口 史匡, 八代 圭司, 雨澤 浩史, 湯上 浩雄, 橋田 俊之, 水崎 純一郎, 川田 達也
32	平成 24 年	日本機械学会論文集 A 編, 77 巻, 780 号, pp. 1357-1366 (2012)	SOFC 作動環境中における燃料極 Ni-YSZ サーマットの機械特性評価	渡辺 智, 佐藤 一永, 鋤納伸治, 井口 史匡, 八代 圭司, 雨澤 浩史, 湯上 浩雄, 橋田 俊之, 水崎 純一郎, 川田 達也
33	平成 24 年 6 月	ECS Transactions, 45(1), pp. 307-312 (2012)	Compositional and Mechanical Stabilities of a (La, Sr) (Co, Fe)O <sub>3-δ</sub> Cathode under SOFC Operation	T. Kawada, M-Y. Oh, H. Watanabe, Y. Kimura, Y. Fujimaki, T. Masumitu, S. Watanabe, S. Hashimoto and K. Amezawa

—受賞—

No.	年月	受賞者	表彰団体・賞名
1	平成 22 年 3 月	水崎純一郎	電気化学会武井賞

課題 2-4) 三相界面

—特許—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
-----	-----	------	-------	-------

1	平成 21 年 1 月 9 日	50900046775 ( 出 願 No 2009-003897)	固体酸化物形燃料電池の活性化方法、ならびに固体酸化物形燃料電池の製造方法	関西電力株式会社
---	--------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	----------

—研究発表・講演—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会	電極微細構造に起因した電池性能の劣化および活性化現象	松井敏明, 飯田達也, 村上幸太, キムジンヨン, 池邊次男, 菊地隆司, 江口浩一
2	平成 21 年 3 月 15 日	日本機械学会関西支部 関西学生会平成 20 年度学生員卒業研究発表講演会	連続断面 SEM 画像を活用した SOFC 燃料極の 3 次元微細構造観察	林大甫, 岸本将史, 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田英生
3	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学会第 76 回大会	高加湿下における固体酸化物形燃料電池の劣化挙動	岸田遼, キムジンヨン, 松井敏明, 江口浩一
4	平成 21 年 5 月 12 日	第 16 回燃料電池シンポジウム	固体酸化物形燃料電池における電気化学的劣化現象と電極微細構造の相関	江口浩一, キムジンヨン, 岸田遼, 室山広樹, 松井敏明
5	平成 21 年 6 月 3 日	第 46 回日本伝熱シンポジウム講演論文集 419-420, 2009	直接内部改質を行う中低温作動平板型 SOFC の数値解析	山本康弘, 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田英生
6	平成 21 年 6 月 3 日	第 46 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 421-422, 2009	SOFC 電極性能と反応領域に対する特性長さの影響	紺野昭生, 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田英生
7	平成 21 年 6 月 30 日	日本機械学会第 14 回動力・エネルギー技術シンポジウム	局所平衡に基づく固体酸化物形燃料電池燃料極の 3 次元数値シミュレーション手法の開発	菅野大輔, 松崎勝久, 手島久典, 鹿園直毅, 笠木伸英
8	平成 21 年 9 月 10 日	2009 年電気化学会秋季大会	SOFC の内部改質発電における電流密度と炭素析出挙動の相関	李懿軒, 室山広樹, 松井敏明, 江口浩一
9	平成 21 年 9 月 10 日	2009 年電気化学会秋季大会	大電流負荷による SOFC の活性化	村上幸太, 室山広樹, 松井敏明, 菊地隆司, 江口浩一
10	平成 21 年 9 月 10 日	2009 年電気化学会秋季大会	Study on dynamic behavior of LSM electrode under cathodic polarization	Jun Yang, Hiroki Muroyama, Toshiaki Matsui, Koichi Eguchi
11	平成 21 年 9 月 16 日	日本機械学会 2009 年度年次大会	電極構造パラメータを考慮した円筒型 SOFC の数値予測	臼井 聡, 西 美奈, 鹿園 直毅, 笠木 伸英
12	平成 21 年 9 月 16 日	日本機械学会 2009 年度年次大会	混合導電性多孔質空気極の 3 次元数値解析	松崎 勝久, 菅野 大輔, 鹿園 直毅, 笠木 伸英
13	平成 21 年 9 月 16 日	日本機械学会 2009 年度年次大会	固体酸化物形燃料電池アノードの電気化学的酸化時の劣化挙動	高木 紀和, 鹿園 直毅, 笠木 伸英
14	平成 21 年 10 月 2 日	5th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy Water and Environment Systems, (CD-ROM) FP-502, 2009.	Numerical Simulation of Intermediate-Temperature Direct-Internal-Reforming Planar SOFC	Hiroshi Iwai, Yasuhiro Yamamoto, Motohiro Saito, Hideo Yoshida,
15	平成 21 年 10 月 5 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells	Quantitative Evaluation of Transport Properties of SOFC Porous Anode by Random Walk Process	Masashi Kishimoto, Hiroshi Iwai, Motohiro Saito, Hideo Yoshida
16	平成 21 年 10 月 6 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells	Quantification of Ni-YSZ Anode Microstructure Based on Dual Beam FIB-SEM Technique	H. Iwai, N. Shikazono, T. Matsui, H. Teshima, M. Kishimoto, R. Kishida, D. Hayashi, K. Matsuzaki, D. Kanno, M. Saito, H. Muroyama, K. Eguchi, N. Kasagi, and H. Yoshida
17	平成 21 年 10 月 6 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells	Performance Deterioration of Ni-based Cermet Induced by Electrochemically-generated Steam in Anode	T. Matsui, R. Kishida, J.-y. Kim, H. Muroyama, and K. Eguchi

18	平成 21 年 10 月 6 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells	Transient Response of LSM Electrode under Cathodic Polarization	J. Yang, H. Muroyama, T. Matsui, and K. Eguchi
19	平成 21 年 10 月 6 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells	Effect of High Current Loading on the Performance Enhancement of SOFCs	K. Murakami, H. Muroyama, T. Matsui, R. Kikuchi, K. Eguchi
20	平成 21 年 10 月 6 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells	Stability of Ni/Y-doped SrTiO <sub>3</sub> -YSZ Anode in Reduction-oxidation Cycles	T. Ikebe, H. Muroyama, T. Matsui, and K. Eguchi
21	平成 21 年 10 月 6 日	Solid Oxide Fuel Cells 11 (SOFC-XI), Vienna	Three-Dimensional Numerical Simulation of Ni-YSZ Anode Polarization Using Recon- structed Microstructure from FIB-SEM Images	K. Matsuzaki, D. Kanno, H. Teshima, N. Shikazono and N. Kasagi
22	平成 21 年 10 月 22 日	Proc. 9th Kyoto - Seoul National Tsinghua University Thermal Engineering Conferene, pp. 125-130, 2009.	Quantitative Evaluation of Transport Properties of SOFC Porous Anode by Random Walk Process	Masashi Kishimoto, Hiroshi Iwai, Motohiro Saito, Hideo Yoshida
23	平成 21 年 11 月 7 日	日本機械学会 熱工学コンファ レンス 2009 講演論文集 No.09-33, 115-116, 2009.	ランダムウォークによる拡散 シミュレーションに基づく SOFC 多孔質電極マイクロ構造の 定量化	岸本将史, 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田英生
24	平成 21 年 12 月 8 日	第 35 回 固体イオニクス討論 会	Dynamic simulation of LSM electrode under cathodic polarization	Jun Yang, Hiroki Muroyam, Toshiaki Matsui, Koichi Eguchi
25	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会	高加湿下での通電による Ni-YSZ アノードの電気化学的 劣化及び微構造変化	岸田遼, 室山広樹, 松井敏明, 江口浩一
26	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会 講演 要旨集, 64-67, 2009.	ランダムウォークによる拡散 シミュレーションに基づく SOFC 多孔質電極マイクロ構造の 定量化	岸本将史, 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田英生
27	平成 21 年 12 月 18 日	第 18 回 SOFC 研究発表会	LSCF 空気極過電圧の三次元数 値解析	松崎勝久, 鹿園直毅, 笠木伸 英
28	平成 21 年 12 月 18 日	第 18 回 SOFC 研究発表会	3 次元再構築に基づくアノ ード微細構造の定量化	岩井裕, 鹿園直毅, 松井敏明, 手島久典, 岸本将史, 岸田亮, 林大甫, 松崎勝久, 菅野大輔, 齋藤元浩, 室山広樹, 江口浩 一, 笠木伸英, 吉田英生
29	平成 22 年 3 月 15 日	日本機械学会関西支部 平成 21 年度学生員卒業研究発表講演 会 講演前刷集, 1411, 2010	中低温作動 SOFC 燃料極におけ る直接内部改質反応に関する 基礎実験	濱野将人, 森本健太郎, 岩井 裕, 齋藤元浩, 吉田英生
30	平成 22 年 3 月 25 日	第 105 回触媒討論会	固体酸化物形燃料電池の燃料 極における劣化現象	江口浩一・岸田遼・飯田達也・ 室山広樹・松井敏明
31	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回大会	高温下での通電による Ni-YSZ アノードの劣化の定量的解析	岸田遼・室山広樹・松井敏明・ 江口浩一
32	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回大会	通電による LSM/YSZ 界面の微 構造変化	見神祐一・室山広樹・松井敏 明・江口浩一
33	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回大会	SOFC 電極微細構造再構築と過 電圧予測	鹿園直毅, 菅野大輔, 松崎勝 久, 笠木伸英
34	平成 22 年 5 月 19 日	第 17 回燃料電池シンポジウム	SOFC における電気化学的劣化 現象と電極微細構造変化の定量的 解析	江口浩一・松井敏明・室山広 樹・吉田英生・岩井裕・齋藤 元浩・乾晴行・岸田恭輔・岡 本範彦・笠木伸英・鹿園直毅
35	平成 22 年 6 月 22 日	日本機械学会第 15 回動力・エ ネルギー技術シンポジウム	LSCF 空気極の三次元数値解析 による過電圧予測	松崎勝久, 鹿園直毅, 笠木伸 英
36	平成 22 年 6 月 22 日	日本機械学会第 15 回動力・エ ネルギー技術シンポジウム	メソスケール構造を有する燃 料極支持型 SOFC の発電特性に 関する数値シミュレーション	紺野昭生, 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田英生
37	平成 22 年 6 月 22 日	日本機械学会第 15 回動力・エ ネルギー技術シンポジウム	中低温作動平板型 SOFC 燃 料極におけるメタンの水蒸気 改質実験	森本健太郎, 濱野将人, 岩井 裕, 齋藤元浩, 吉田英生

38	平成 22 年 6 月 22 日	日本機械学会第 15 回動力・エ ネルギー技術シンポジウム	発電による SOFC 空気極微構造 の変化	嶋田康章, 岸本将史, 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田英生
39	平成 22 年 6 月 30 日	9th European SOFC Forum	Microwave Sintering for the Fabrication of Anode Support Solid Oxide Fuel Cells	Z. Jiao, N. Shikazono and N. Kasagi
40	平成 22 年 6 月 30 日	9th European SOFC Forum	Microstructure Change of SOFC Anode Caused by Electrochemical RedOx Cycles	N. Takagi, Y. Nakamura, N. Shikazono and N. Kasagi
41	平成 22 年 6 月 30 日	9th European SOFC Forum	Simulation and Exergy Analysis of Solid Oxide Fuel Cell-Micro Gas Turbine Hybrid System Utilizing Biosyngas	Suranat Wongchanapai, Hiroshi Iwai, Motohiro Saito, Hideo Yoshida
42	平成 22 年 8 月 10 日	14th International Heat Transfer Conference	Thermal and Electrochemical Cell Design and Its Experimental Assessment for Micro SOFC System	Usui, S. Nishi, M., Shikazono, N. and Kasagi, N.
43	平成 22 年 8 月 11 日	14th International Heat Transfer Conference	Quantitative Evaluation of Transport Properties of SOFC Porous Anode and Their Effect on the Power Generation Performance	Masashi Kishimoto, Hiroshi Iwai, Motohiro Saito, Hideo Yoshida
44	平成 22 年 9 月 5 日	化学工学会第 42 回秋季大会	固体酸化物形燃料電池の電極 微細構造再構築と過電圧予測	鹿園 直毅
45	平成 22 年 9 月 6 日	Asian SOFC Symposium	DRT Analysis of Practical Segmented-in-series Tubular SOFC Impedance Spectra	B. Liu, H. Muroyama, T. Matsui, K. Tomida, T. Kabata, and K. Eguchi
46	平成 22 年 9 月 6 日	Asian SOFC Symposium	Cathodic Polarization Behavior of Porous (La, Sr)MnO <sub>3</sub> and (La, Sr)CoO <sub>3</sub> Cathodes	J. Yang, H. Muroyama, T. Matsui, and K. Eguchi
47	平成 22 年 9 月 7 日	日本機械学会 2010 年度年次大 会	燃料依存性を考慮した円筒型 固体酸化物形燃料電池の発電 性能の予測	西 美奈, 臼井 聡, 鹿園 直 毅, 笠木 伸英
48	平成 22 年 9 月 7 日	日本機械学会 2010 年度年次大 会	FIB-SEM 再構築構造を用いた SOFC 燃料極の三次元数値シミ ュレーション	菅野大輔, 松崎勝久, 鹿園 直 毅, 笠木 伸英
49	平成 22 年 9 月 8 日	日本機械学会 2010 年度年次大 会	SOFC のアノード微構造定量化 と電極性能	上田将人, 岸本将史, 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田英生
50	平成 22 年 9 月 27 日	日本金属学会秋期(第 147 回) 大会	(La, Sr)MnO <sub>3</sub> 電極/イットリア 安定化ジルコニア電解質界面 の微細構造と電池特性	井上雄貴, 岸田恭輔, 乾 晴 行, 室山広樹, 松井敏明, 江 口浩一
51	平成 22 年 10 月 31 日	日本機械学会 熱工学コンファ レンス 2010	SOFC 電極多孔質 3 次元構造の 定量化と Contiguity 理論に基 づく従来型多孔質モデルの評 価	岸本将史, 上田将人, 嶋田康 章, 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田 英生
52	平成 22 年 12 月 16 日	第 19 回 SOFC 研究発表会	Study on Degradation of Solid Oxide Fuel Cell with Pure Ni Anode	Jiao, Z., Shikazono, N. and Kasagi, N.
53	平成 22 年 12 月 16 日	第 19 回 SOFC 研究発表会	SOFC 燃料極三次元数値解析に おける気体輸送モデルの評価	澄野慎二, 鹿園直毅, 笠木伸 英
54	平成 22 年 12 月 16 日	第 19 回 SOFC 研究発表会	水蒸気劣化に対する燃料極中 の酸化物成分の影響	岸田遼, 室山広樹, 松井敏明, 江口浩一
55	平成 22 年 12 月 16 日	第 19 回 SOFC 研究発表会	通電にともなう空気極/電解 質界面の微構造変化	見神祐一, 室山広樹, 松井敏 明, 江口浩一
56	平成 22 年 12 月 16 日	第 19 回 SOFC 研究発表会	円筒横縞形 SOFC におけるイン ピーダンススペクトルの緩和 時間分布解析	BinLiu, 室山広樹, 松井敏明, 江口浩一, 富田和男, 加幡達 雄
57	平成 22 年 12 月 16 日	第 19 回 SOFC 研究発表会	Ni-YSZ 燃料極におよぼす熱サ イクルの影響	田中亮, 岸本将史, 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田英生

58	平成 22 年 12 月 16 日	第 19 回 SOFC 研究発表会	電極微構造定量手法の比較 と性能予測への影響	岸本将史, 上田将人, 嶋田康 章, 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田 英生
59	平成 22 年 12 月 17 日	第 19 回 SOFC 研究発表会	SOFC 電極における性能の経時 変化と微構造の相関	江口浩一, 岸田遼, 見神祐一, 鷺見裕史, BinLiu, 室山広樹, 松井敏明
60	平成 22 年 12 月 17 日	第 19 回 SOFC 研究発表会	SOFC 燃料極内の YSZ, ScSZ の 結晶相安定性が炭素析出挙動 に与える影響	鷺見裕史, 室山広樹, 松井敏 明, 江口浩一
61	平成 23 年 3 月 25 日	日本金属学会春期(第 148 回) 大会	固体電解質型燃料電池におけ る空気極/電解質界面近傍の 微細構造と電池特性	岸田恭輔, 井上雄貴, 乾晴行, 室山広樹, 松井敏明, 江口浩 一
62	平成 23 年 3 月 31 日	電気化学会第 78 回大会	Ni-YSZ アノードにおける炭素 の析出・除去過程が電池性能へ 及ぼす影響	李 懿軒, 鷺見裕史, 室山広 樹, 松井敏明, 江口浩一
63	平成 23 年 3 月 31 日	電気化学会第 78 回大会	水蒸気劣化に対する SOFC アノ ード中の酸化物成分の影響	岸田遼, 室山広樹, 松井敏明, 江口浩一
64	平成 23 年 5 月 2 日	12th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XII)	Cooperative Investigations on Degradation of Cathode Materials in Segment-in-Series Cells by MHI	H. Yokokawa, H. Kishimoto, K. Yamaji, T. Horita, T. Watanabe, T. Yamamoto, K. Eguchi, T. Matsui, K. Sasaki, Y. Shiratori, T. Kawada, K. Sato, T. Hashida, A. Unemoto, T. Kabata, K. Tomida
65	平成 23 年 5 月 3 日	12th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XII)	Quantification of Microstructural Change at the Interface Between (La,Sr)MnO <sub>3</sub> + $\delta$ Cathode and YSZ Electrolyte Upon Discharge Operation	T. Matsui, Y. Mikami, H. Muroyama, and K. Eguchi
66	平成 23 年 5 月 3 日	12th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XII)	Influence of Anode Thickness on Cell Performance in Internal Reforming Operation of SOFCs	Y.-H. Lee, H. Sumi, H. Muroyama, T. Matsui, and K. Eguchi
67	平成 23 年 5 月 3 日	12th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XII)	Study on Degradation of Solid Oxide Fuel Cell with Pure Ni Anode	Z. Jiao, N. Shikazono and N. Kasagi
68	平成 23 年 5 月 5 日	12th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XII)	Correlation between Microstructure and Electrochemical Characteristics of Ni - YSZ Anode Subjected to Redox Cycles	H. Muroyama, H. Sumi, R. Kishida, J.-Y. Kim, T. Matsui, and K. Eguchi
69	平成 23 年 5 月 5 日	12th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XII)	Impedance Analysis of Practical Segmented-in-Series Tubular Solid Oxide Fuel Cells	B. Liu, T. Matsui, H. Muroyama, K. Tomida, T. Kabata, and K. Eguchi
70	平成 23 年 5 月 6 日	12th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XII)	Three-Dimensional Simulation of SOFC Anode Polarization Characteristics Based on Sub-Grid Scale Model	Masashi Kishimoto, Hiroshi Iwai, Motohiro Saito, Hideo Yoshida
71	平成 23 年 5 月 18 日	第 18 回燃料電池シンポジウム	SOFC における電池性能と電極 微構造変化の相関	江口浩一・松井敏明・室山広 樹・吉田英生・岩井裕・齋藤 元浩・乾晴行・岸田恭輔・岡 本範彦・笠木伸英・鹿園直毅
72	平成 23 年 6 月 1 日	日本伝熱学会 第 48 回伝熱シ ンポジウム	金属板に担持した Ni 系触媒に よるメタン水蒸気改質反応の 圧力依存性	齋藤元浩, 新名裕大, 池邨公 孝, 岩井裕, 吉田英生

73	平成 23 年 6 月 1 日	日本伝熱学会 第 48 回伝熱シンポジウム	微構造定量化に基づく SOFC 電極解析用サブグリッドスケールモデルの提案と評価	岸本将史, 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田英生
74	平成 23 年 6 月 23 日	日本機械学会 第 16 回動力・エネルギー技術シンポジウム	平板型 SOFC のスタック内温度分布に起因する不均一流量分配	林大甫, 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田英生
75	平成 23 年 7 月 4 日	18th International conference on Solid State Ionics	Quantitative analysis of microstructural change in electrodes during discharge operation of solid oxide fuel cells	K. Eguchi, H. Muroyama, and T. Matsui
76	平成 23 年 9 月 9 日	2011 年電気化学会秋季大会	水蒸気劣化に対する SOFC 用燃料極中の酸化物成分の影響	松井敏明, 岸田遼, 室山広樹, 江口浩一
77	平成 23 年 9 月 9 日	2011 年電気化学会秋季大会	通電による LSM 電極/SDC 電解質界面の微構造変化	河本将宏, 室山広樹, 松井敏明, 江口浩一
78	平成 23 年 9 月 9 日	2011 年電気化学会秋季大会	通電による LSM 電極/YSZ 電解質界面の微構造変化	見神祐一, 室山広樹, 松井敏明, 江口浩一
79	平成 23 年 9 月 10 日	日本機械学会 2011 年度年次大会	SOFC 燃料極過電圧一次元モデルの高精度化に関する研究	西 美奈, 澄野 慎二, 鹿園直毅, 笠木 伸英
80	平成 23 年 9 月 10 日	日本機械学会 2011 年度年次大会	SOFC 燃料極の三次元構造を用いた交換電流密度の評価	澄野慎二, 鹿園 直毅, 笠木伸英
81	平成 23 年 9 月 12 日	日本機械学会 2011 年度年次大会	Ni-YSZ 電極の表面温度分布にメタン水蒸気改質が与える影響	高橋忠将, 林大甫, 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田英生
82	平成 23 年 9 月 12 日	The 62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry	Influence of carbon deposition and removal in anode on cell performance in internal reforming operation of SOFCs	Y.-H. Lee, H. Sumi, H. Muroyama, T. Matsui, and K. Eguchi
83	平成 23 年 9 月 20 日	日本物理学会領域 10(格子欠陥・ナノ構造) 第 21 回格子欠陥フォーラム	先進電池材料の固体イオクス界面微細構造と電池特性(依頼講演)	岸田恭輔
84	平成 23 年 9 月 25 日	The Third Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow	Numerical Simulation of Methane Steam Reforming Using a Rate Equation of Nickel-based Catalyst	K.K. Lin, M. Saito, Y. Niina, K. Ikemura, H. Iwai, H. Yoshida
85	平成 23 年 11 月 29 日	2011 MRS Fall Meeting	Microstructure Evolution at the Interface Region between Lanthanum Strontium Manganite Cathode and Yttria-Stabilized Zirconia Electrolyte during Discharge Operation	K. Kishida, H. Inui, H. Muroyama, T. Matsui and K. Eguchi
86	平成 23 年 12 月 1 日	2011 MRS Fall Meeting	Numerical Simulation of SOFC Electrode Polarization Using Three-Dimensional Microstructure Reconstructed by FIB-SEM	Shikazono, N. and Kasagi, N. .
87	平成 23 年 12 月 9 日	第 37 回固体イオクス討論会	Microstructural change in strontium-doped lanthanum manganite cathodes for solid oxide fuel cell during discharge operation	Jun Yang, Hiroki Muroyama, Toshiaki Matsui, Koichi Eguchi
88	平成 23 年 12 月 12 日	第 20 回 SOFC 研究発表会	電極微構造観察による実セル・スタック劣化要因の定量的解析	江口浩一, 吉田英生, 岩井裕, 松井敏明, 齋藤元浩, 室山広樹, 鹿園直毅, 笠木伸英, 島津めぐみ, 上野晃, 川野光伸, 上野大介, 秋草順, 江藤浩之

89	平成 23 年 12 月 12 日	第 20 回 SOFC 研究発表会	Microstructural change in strontium-doped lanthanum manganite cathodes for solid oxide fuel cell during discharge operation	Jun Yang, Hiroki Muroyama, Toshiaki Matsui, Koichi Eguchi
90	平成 23 年 12 月 12 日	第 20 回 SOFC 研究発表会	3D Quantitative characterization of Nickel-Yttria-stabilized Zirconia solid oxide fuel cell anode microstructure in discharge.	Jiao, Z., Shikazono, N. and Kasagi, N.,
91	平成 23 年 12 月 12 日	第 20 回 SOFC 研究発表会	Ni-YSZ サーメットの表面温度分布にメタン水蒸気改質が与える影響	高橋忠将, 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田英生
92	平成 23 年 12 月 12 日	第 20 回 SOFC 研究発表会	Ni-YSZ 燃料極の組成比が有効三相界面分布と電極性能におよぼす影響	岸本将史, 宮脇皓亮, 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田英生
93	平成 23 年 12 月 13 日	第 20 回 SOFC 研究発表会	通電にともなう LSM/YSZ 界面微構造の変化	見神祐一, Jun Yang, 室山広樹, 松井敏明, 江口浩一
94	平成 23 年 12 月 20 日	第 21 回日本 MRS 学術シンポジウム	Three Dimensional Numerical Simulation of SOFC Electrodes	Shikazono, N. and Kasagi, N.,
95	平成 24 年 3 月 21 日	The 8th KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering Conference	Sensitivity Analysis of an Integrated Small-Scale SOFC-Biomass Gasification Power Generation System	Suranat Wongchanapai, Hiroshi Iwai, Motohiro Saito, Hideo Yoshida
96	平成 24 年 3 月 29 日	電気化学会第 79 回大会	SOFC 起動・停止操作による Ni-YSZ アノードの性能低下および微構造変化	久保田勝, 室山広樹, 松井敏明, 江口浩一
97	平成 24 年 5 月 16 日	日本顕微鏡学会第 68 回学術講演会	透過電子顕微鏡法による先進電池用材料の結晶構造および欠陥構造解析	岸田恭輔
98	平成 24 年 5 月 30 日	日本伝熱学会 第 49 回伝熱シンポジウム	SOFC 燃料極の表面温度分布にメタン改質反応が与える影響	高橋 忠将, 岩井 裕, 齋藤 元浩, 吉田 英生
99	平成 24 年 6 月 1 日	日本伝熱学会 第 49 回伝熱シンポジウム	酸化物イオン伝導の特性長さを利用した SOFC 電極内有効反応厚さの予測	岸本 将史, 岩井 裕, 齋藤 元浩, 吉田 英生
100	平成 24 年 6 月 1 日	日本伝熱学会 第 49 回伝熱シンポジウム	SOFC 単セルシミュレーションへの電極劣化モデルの適用	香山 貴彦, 岩井 裕, 齋藤 元浩, 吉田 英生
101	平成 24 年 6 月 21 日	日本機械学会 第 17 回動力・エネルギー技術シンポジウム	多孔質微構造を考慮した SOFC 燃料極におけるメタン水蒸気改質実験	上田将人, 岩井 裕, 齋藤 元浩, 吉田 英生
102	平成 24 年 6 月 28 日	10th European SOFC Forum	Effect of Composition Ratio of Ni-YSZ Anode on Distribution of Effective Three-Phase Boundary and Power Generation Performance	Masashi Kishimoto, Kosuke Miyawaki, Hiroshi Iwai, Motohiro Saito, Hideo Yoshida
103	平成 24 年 7 月 5 日	International Symposium on Advances in Computational Heat Transfer	Maldistribution of Fuel/Air Flows in a Stack of Planar SOFC Caused by Temperature Non-uniformity	Hiroshi Iwai, Daisuke Hayashi, Motohiro Saito, Hideo Yoshida
104	平成 24 年 7 月 18 日	The 13th Asian Conference on Solid State Ionics	A study on the microstructural change of strontium-doped lanthanum manganite cathode under current-loading conditions	J. Yang, H. Muroyama, T. Matsui, and K. Eguchi
105	平成 24 年 7 月 19 日	The 13th Asian Conference on Solid State Ionics	Quantitative evaluation of microstructural change in electrodes upon discharge operation of solid oxide fuel cells	H. Muroyama, T. Matsui, and K. Eguchi

—論文—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 21 年 2 月 1 日	Electrochemistry, 77, 123-126 (2009)	Sudden Deterioration in Performance During Discharge of Anode-supported Solid Oxide Fuel Cells	T. Matsui, J.-y. Kim, R. Kikuchi, K. Eguchi
2	平成 21 年 7 月 1 日	J. Power Sources, 195, (2010), 151-154	Performance of an anode support solid oxide fuel cell manufactured by microwave sintering	Jiao, Z., Shikazono, N., and Kasagi, N.
3	平成 21 年 9 月 1 日	日本機械学会論文集, Vol. 76B, No. 763, pp. 418-419 (2010)	局所平衡に基づく固体酸化物 形燃料電池燃料極の 3 次元数 値シミュレーション手法の開 発	菅野大輔, 松崎勝久, 手島久 典, 鹿園直毅, 笠木伸英
4	平成 21 年 11 月 1 日	J. Power Sources, 195, 955-961 (2010)	Quantification of SOFC anode microstructure based on dual beam FIB-SEM technique	H. Iwai, N. Shikazono, T. Matsui, H. Teshima, M. Kishimoto, R. Kishida, D. Hayashi, K. Matsuzaki, D. Kanno, M. Saito, H. Muroyama, K. Eguchi, N. Kasagi, and H. Yoshida
5	平成 22 年 2 月 1 日	J. Electrochem. Soc., 157, B449-B454 (2010)	Simulation of Dynamic Response of Strontium-Doped Lanthanum Manganite under Cathodic Polarization	J. Yang, H. Muroyama, T. Matsui, and K. Eguchi,
6	平成 22 年 4 月 1 日	J. Electrochem. Soc., 157, B665-B672 (2010).	Numerical Assessment of SOFC Anode Polarization Based on Three-Dimensional Model Microstructure Reconst- ructed from FIB-SEM Image	Shikazono, N., Kanno, D., Matsuzaki, K., Teshima, H., Sumino, S. and Kasagi, N.
7	平成 22 年 4 月 1 日	J. Electrochem. Soc., 157, B776-B781 (2010).	Performance Deterioration of Ni-YSZ Anode Induced by Electrochemically Generated Steam in Solid Oxide Fuel Cells	T. Matsui, R. Kishida, J. Y. Kim, H. Muroyama, K. Eguchi,
8	平成 22 年 5 月 1 日	Energy, 36, 2225-2234, (2010)	Numerical simulation of intermediate-temperature direct-internal-reforming planar solid oxide fuel cell	Iwai H., Yamamoto Y., Saito M., Yoshida H.
9	平成 22 年 7 月 1 日	Thermal Science and Engineering	スケール解析と数値計算によ る SOFC 電極内反応領域に関 する検討,	紺野昭生, 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田英生
10	平成 22 年 9 月 1 日	International Journal of Hydrogen Energy, 35(19), 10505-10512 (2010).	A comparative study on polarization behavior of (La,Sr)MnO <sub>3</sub> and (La,Sr)CoO <sub>3</sub> cathodes for solid oxide fuel cells	J. Yang, H. Muroyama, T. Matsui, K. Eguchi
11	平成 22 年 9 月 1 日	Journal of the Electrochemical Society, 157, B1747-B1752 (2010)	Correlation Between Microstructural and Electrochemical Characteristics during Redox Cycles for Ni-YSZ Anode of SOFCs	H. Sumi, R. Kishida, J. Y. Kim, H. Muroyama, T. Matsui, K. Eguchi
12	平成 22 年 10 月 1 日	Journal of the Electrochemical Society, 157, B1790-1794 (2010)	Quantitative Analysis of Microstructural Change at the Interface Between (La,Sr)MnO <sub>3</sub> Cathode and YSZ Electrolyte upon Discharge Operation	T. Matsui, Y. Mikami, H. Muroyama, K. Eguchi

13	平成 22 年 10 月 1 日	Journal of the Electrochemical Society, 157, B1858-B1864 (2010)	Analysis of Impedance Spectra for Segmented-in-Series Tubular Solid Oxide Fuel Cells	B. Liu, H. Muroyama, T. Matsui, K. Tomida, T. Kabata, K. Eguchi
14	平成 22 年 12 月 1 日	Journal of the Electrochemical Society, 158, B215-B224 (2011)	Gas Transport Impedance in Segmented-in-Series Tubular Solid Oxide Fuel Cell	B. Liu, H. Muroyama, T. Matsui, K. Tomida, T. Kabata, K. Eguchi
15	平成 23 年 1 月 1 日	J. Power Sources, 196 (3), pp. 1019-1029 (2011).	Study on Local Morphological Changes of Nickel in Solid Oxide Fuel Cell Anode using Porous Ni pellet Electrode	Jiao, Z., Takagi, N., Shikazono, N. and Kasagi, N.
16	平成 23 年 3 月 1 日	J. Power Sources, 196 (6), pp. 3073-3082 (2011).	Three-Dimensional Numerical Analysis of Mixed Ionic and Electronic Conducting Cathode Reconstructed by Focused Ion Beam Scanning Electron Microscope	Matsuzaki, K., Shikazono, N. and Kasagi, N.
17	平成 23 年 4 月 1 日	Electrochimica Acta, 56 (11), pp. 4015-4021 (2011)	Evaluation of SOFC Anode Polarization Simulation using Three-Dimensional Microstructures Reconstructed by FIB Tomography	Kanno, D., Shikazono, N., Takagi, N., Matsuzaki, K. and Kasagi, N.
18	平成 23 年 5 月 1 日	J. Power Sources, 196 (20), pp. 8366-8376 (2011)	Study on Degradation of Solid Oxide Fuel Cell Anode by using pure Nickel Electrode	Jiao, Z., Shikazono, N. and Kasagi, N.
19	平成 23 年 5 月 15 日	Journal of Power Sources, 196, 4555-4563, (2011)	Quantitative evaluation of solid oxide fuel cell porous anode microstructure based on focused ion beam and scanning electron microscope technique and prediction of anode overpotentials	Masashi Kishimoto, Hiroshi Iwai, Motohiro Saito, Hideo Yoshida
20	平成 23 年 8 月 31 日	Heat Transfer Asian Research, DOI: 10.1002/htj.20373 (2011)	Effect of characteristic lengths of electron, ion, and gas diffusion on electrode performance and electrochemical reaction area in a solid oxide fuel cell	Akio Konno, Hiroshi Iwai, Motohiro Saito, Hideo Yoshida
21	平成 24 年 1 月 10 日	Journal of The Electrochemical Society, 159(3) B315-B323 (2012)	Three-Dimensional Simulation of SOFC Anode Polarization Characteristics Based on Sub-Grid Scale Modeling of Microstructure	Masashi Kishimoto, Hiroshi Iwai, Motohiro Saito, Hideo Yoshida
22	平成 24 年 1 月 1 日	J. Electrochem. Soc., 159 (3), pp. B285-B291 (2012)	Quantitative Characterization of SOFC Nickel-YSZ Anode Microstructure Degradation Based on Focused-Ion-Beam 3D-Reconstruction Technique	Jiao, Z., Shikazono, N. and Kasagi, N.
23	平成 24 年 1 月 1 日	Journal of Power Sources, 204, 25-33 (2012)	The influence of discharge operation on the microstructure of strontium-doped lanthanum manganite cathode for solid oxide fuel cells	J. Yang, H. Muroyama, T. Matsui, K. Eguchi
24	平成 24 年 1 月 1 日	Journal of the Electrochemical Society, 159(3), B324-B330 (2012)	Dynamic behavior of segmented-in-series tubular solid oxide fuel cell upon discharge	B. Liu, H. Muroyama, T. Matsui, K. Tomida, T. Kabata, K. Eguchi

25	平成 24 年 4 月 15 日	Journal of Power Sources, 204, 14-24 (2012)	Selection of suitable operating conditions for Planar Anode-supported Direct-internal-reforming Solid-Oxide Fuel Cell	Suranat Wongchanapai, Hiroshi Iwai, Motohiro Saito, Hideo Yoshida
26	in press	Solid State Ionics	Anode microstructural change upon long-term operation for the cathode-supported tubular-type SOFC	T. Matsui, J.-Y. Kim, H. Muroyama, M. Shimazu, T. Abe, M. Miyao, K. Eguchi

—受賞—

No.	年月	受賞者	受賞内容	表彰団体・賞名
1	平成 23 年 10 月	Toshiaki Matsui	Development of novel proton conductors consisting of the solid acid/pyrophosphate composite for the application in intermediate-temperature fuel cells	J. B. Wagner, Jr. Young Investigator Award of the High Temperature Materials Division of The Electrochemical Society
2	平成 24 年 3 月	江口浩一	金属-酸化物間の相互作用を 利用した燃料・エネルギー変換 触媒の開発	触媒学会学会賞(学術部門)
3	平成 24 年 3 月	松井敏明	固体電解質形燃料電池のため の新規材料開発と電気化学特 性評価に関する研究	電気化学会 進歩賞・佐野賞

課題 2-5) 性能評価

—研究発表・講演—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 9 月 18 日	2008 Korea-Japan-China SOFC Symposium	Long-term Operations Test and Investigation on Stack Performance of Tubular-Type SOFC Stacks	浅野 浩一、山本 融 安本 憲司、森田 寛 吉川 将洋、麦倉 良啓、渡 辺 隆夫、山下 晃弘、富田 和男
2	平成 21 年 7 月 18 日	平成 20 年度 NEDO 成果報告シン ポジウム	耐久性信頼性向上のための基 礎研究	吉川将洋
3	平成 21 年 10 月 1 日	the 216th ECS meeting (the 11th International symposium on SOFC:SOFC-XI)	Development of SOFC performance and durability evaluations technology	T. Yamamoto, H. Morita, M. Yoshikawa, F. Yoshiba, K. Asano, K. Yasumoto, Y. Mugikura
4	平成 21 年 11 月 1 日	日本における燃料電池の開発 (燃料電池開発情報センター)	電力中央研究所における固体 酸化物形燃料電池の研究開発	安本 憲司
5	平成 21 年 11 月 1 日	2009 Fuel cell seminar & exposition	Development of SOFC performance evaluation technology	M. Yoshikawa, H. Morita, T. Yamamoto, F. Yoshiba, Y. Mugikura
6	平成 21 年 11 月 1 日	5th International conference on clean coal technology and fuel cells	R&D durability evaluation methods for solid oxide fuel cells	T. Watanabe, T. Yamamoto, F. Yoshiba, H. Morita, M. Yoshikawa, K. Asano, K. Yasumoto, Y. Mugikura, Y. Izaki
7	平成 21 年 12 月 1 日	3rd European fuel cell technology and applications conference	An analysis result of solid oxide fuel cell durability by electrode polarization model	Y. Mugikura, H. Morita, M. Yoshikawa, F. Yoshiba, T. Yamamoto
8	平成 21 年 12 月 1 日	3rd European fuel cell technology and applications conference	Recent fuel cell development at CRIEPI	T. Watanabe, Y. Izaki, Y. Mugikura, M. Yoshikawa, H. Morita, F. Yoshiba, M. Kawase, K. Asano
9	平成 22 年 5 月 19 日	燃料電池シンポジウム	SOFC 性能評価技術の開発(3) —長期耐久性試験と性能表示	吉川将洋, 麦倉良啓, 安本憲 司, 山本融

			式による評価一	
10	平成 22 年 6 月 30 日	9th European solid oxide fuel cell forum	Investigation of SOFC performance and durability evaluations	T. Yamamoto, H. Morita, Y. Mugikura, D. Klotz, A. Leonide, A. Weber, E. Tiffée
11	平成 22 年 7 月 7 日	平成 21 年度 NEDO 成果報告シン ポジウム	耐久性評価手法の検討に係る 技術開発	吉川将洋
12	平成 22 年 10 月 1 日	Fuel Cells Science & Technology 2010	Performance and durability analysis of SOFC	Y. Mugikura, M. Yoshikawa, T. Yamamoto, K. Yasumoto
13	平成 22 年 10 月 1 日	2010 電中研フォーラム	固体酸化物形燃料電池の耐久 性評価法	吉川将洋
14	平成 22 年 10 月 1 日	2010 Fuel Cell Seminar & Exposition	Development of SOFC performance evaluation technology (2)	M. Yoshikawa, Y. Mugikura, K. Yasumoto, T. Yamamoto
15	平成 22 年 11 月 1 日	第 6 回クリーンコールおよび 燃料電池に関する国際会議 (CCT&FCs)	Development of performance evaluation technology for long term durability and reliability of SOFCs	T. Yamamoto, K. Yasumoto, M. Yoshikawa, Y. Mugikura, Y. Izaki
16	平成 22 年 12 月 1 日	SOFC 研究発表会	信頼性・耐久性向上のための SOFC 評価手法の開発	山本融, 安本憲司, 浅野浩一, 吉川将洋, 麦倉良啓, 伊崎慶 之
17	平成 23 年 4 月 1 日	第 83 回 SOFC 研究会	電中研における SOFC 耐久性・ 信頼性向上に関する基礎研究	吉川将洋
18	平成 23 年 5 月 1 日	第 18 回燃料電池シンポジウム	SOFC 性能評価技術の開発(4)- 長期耐久性試験結果と劣化要 因別電圧低下率-	吉川将洋, 安本憲司, 山本融, 麦倉良啓
19	平成 23 年 6 月 1 日	Symposium: Solid Oxide Fuel Cell for Next Generation Power Plants	SOFC integrated power plant development in Japan	T. Yamamoto, K. Yasumoto, M. Yoshikawa, Y. Mugikura, Y. Izaki, H. Morita
20	平成 23 年 9 月 1 日	2nd International Workshop on Degradation Issues of Fuel Cells	Performance evaluation technology for long term durability and reliability of SOFCs	Y. Mugikura, K. Yasumoto, M. Yoshikawa, T. Yamamoto
21	平成 23 年 9 月 1 日	the 62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Symposium 7: Fuel Cells: Materials, Properties and Mechanisms	Performance evaluation technology for long term durability and reliability of SOFCs	T. Yamamoto, K. Yasumoto, M. Yoshikawa, Y. Mugikura, Y. Izaki
22	平成 23 年 10 月 1 日	NEDO 燃料電池・水素技術開発 平成 22 年度成果報告会シンポ ジウム	耐久性評価手法に係る技術開 発	吉川将洋
23	平成 23 年 11 月 1 日	The 7th International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells	Development of performance evaluation technology for long term durability and reliability of SOFCs	渡辺隆夫, 吉川将洋, 山本融, 安本憲司, 浅野浩一, 麦倉良 啓, 伊崎慶之
24	平成 23 年 11 月 1 日	Fuel Cell Seminar & Exposition 2011	Development of SOFC performance evaluation technology (3)	K. Asano, M. Yoshikawa, K. Yasumoto, T. Yamamoto, Y. Mugikura
25	平成 23 年 11 月 1 日	SOFC 研究会	「2nd international workshop on Degradation in Fuel Cells」 参加報告	麦倉良啓
26	平成 23 年 11 月 1 日	SOFC 研究会	「2011 Fuel Cell Seminar & Exposition」参加報告	浅野浩一
27	平成 23 年 12 月 1 日	第 20 回 SOFC 研究発表会	耐久性・信頼性向上のための SOFC 性能評価手法の開発	安本憲司, 浅野浩一, 吉川将 洋, 森田寛, 山本融, 麦倉良 啓
28	平成 23 年 12 月 1 日	第 20 回 SOFC 研究発表会	フラットチューブ横縞形(中温 筒状横縞形 SOFC)の耐久性評価	中村和郎他, 吉川将洋, 山本 融, 麦倉良啓
29	平成 24 年 5 月 1 日	第 19 回 FCDIC 燃料電池シンポ ジウム	SOFC 性能評価技術の開発(5)- 各社の劣化要因と改良効果の 検証-	吉川将洋, 山本融, 安本憲司, 麦倉良啓

30	平成 24 年 5 月 1 日	第 19 回 FCDIC 燃料電池シンポジウム	フラットチューブ (筒状) 横縞形 SOFC の耐久性評価	中村和郎他, 吉川将洋, 山本融, 麦倉良啓
31	平成 24 年 6 月 1 日	10th EUROPEAN SOFC FORUM	Chromium Poisoning of LaMnO <sub>3</sub> -based Cathode within Generalized Approach	横川晴美, 堀田照久, 山地克彦, 岸本治夫 (産総研), 吉川将洋, 山本融, 麦倉良啓 (電中研), 加幡達雄, 富田和男 (MHI)
32	平成 24 年 6 月 1 日	10th EUROPEAN SOFC FORUM	Study on Durability of Flattened Tubular Segmented-in-Series Type SOFC Stacks	中村和郎他, 吉川将洋, 山本融, 麦倉良啓
33	平成 24 年 8 月 1 日	63rd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry	Performance evaluation technology for long term durability and reliability of SOFCs	Y. Mugikura, K. Yasumoto, H. Morita, M. Yoshikawa, T. Yamamoto

## 課題 2-6) 石炭ガス化ガス

### —研究発表・講演—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 10 月 10 日	日本エネルギー学会第 45 回石炭科学会議、京都	石炭ガス化プロセスにおける微量金属成分の挙動解明	田谷幸洋、朝倉榮次、義家亮、成瀬一郎
2	平成 21 年 3 月 16 日	日本機械学会東海学生会第 40 回学生員卒業研究発表講演会、岐阜	石炭ガス化ガス中の微量金属成分による SOFC の劣化特性解明の基礎	一柳太郎、田谷幸洋、義家亮、成瀬一郎
3	平成 21 年 3 月 17 日	日本機械学会東海支部第 58 期総会講演会、岐阜	石炭ガス化条件における微量金属を含む微粒子の放出過程の解明	義家亮、田谷幸洋、成瀬一郎
4	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学会第 76 回大会	石炭ガス化ガスによる SOFC 発電試験 (口頭発表)	倉本浩司、鈴木善三、岸本治夫、山地克彦、熊岳平、堀田照久、M. E. Brito、横川晴美
5	平成 21 年 5 月 12 日	第 16 回燃料電池シンポジウム	石炭ガス化ガスを用いた SOFC 単セル発電試験 (口頭発表)	倉本浩司、松岡浩一、鈴木善三、岸本治夫、山地克彦、熊岳平、堀田照久、M. E. Brito、横川晴美
6	平成 21 年 9 月 16 日	化学工学会第 41 回秋季大会 (広島)	石炭ガス化ガスを用いた SOFC 発電試験における燃料ガス中不純物による燃料極材料の化学劣化挙動	倉本浩司、松岡浩一、鈴木善三、岸本治夫、山地克彦、熊岳平、堀田照久、M. E. Brito、横川晴美
7	平成 21 年 9 月 17 日	化学工学会第 41 回秋季大会、広島	石炭ガス化ガス中に含まれるセレン化合物の挙動評価	小林俊裕、成瀬一郎、義家亮、植木保昭、田谷幸洋、一柳太郎
8	平成 21 年 10 月 4 日	The 11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XI) (Vienna, Austria)	Effects of impurities contained in coal-derived syngas on the performance of SOFCs (ポスター発表)	倉本浩司、松岡浩一、鈴木善三、岸本治夫、山地克彦、熊岳平、堀田照久、M. E. Brito、横川晴美
9	平成 21 年 12 月 3 日	第 47 回燃焼シンポジウム、札幌	石炭ガス化過程における微粒子および微量成分の放出	義家亮、田谷幸洋、一柳太郎、植木保昭、成瀬一郎
10	平成 21 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会 (東京)	石炭ガス化ガス利用型 SOFC 発電システムを目指した基礎的調査研究	倉本浩司、松岡浩一、福島登志代、鈴木善三、岸本治夫、山地克彦、Brito. M. Manuel、趙度衡、堀田照久、横川晴美
11	平成 22 年 7 月 18 日	日本混相流学会年会講演会 2010 (浜松)	石炭ガス化ガス中微量金属の SOFC に与える影響	水谷晋、早川幸男、守富寛、神原信志、隈部和弘
12	平成 22 年 9 月 21 日	第 47 回石炭科学会議 (長良川国際会議場)	固体酸化物型燃料電池アノード発電能および微細焼結構造に対する石炭ガス化ガス中微量成分の影響調査	倉本浩司、福島登志代、松岡浩一、鈴木善三、堀田照久、山地克彦、岸本治夫、横川晴美、義家亮、成瀬一郎、隈部和弘、守富寛 (東京都市大学、産総研) 横川晴美、(名古屋大) 義家亮、成瀬一郎、(岐阜大) 隈部和弘、守富寛 倉本浩司、福島登志代、松岡

				浩一、鈴木善三、堀田照久、山地克彦、岸本治夫、(東京都大学、産総研)横川晴美、(名古屋大)義家 亮、成瀬一郎、(岐阜大)隈部和弘、守富 寛倉本浩司、福島登志代、松岡浩一、鈴木善三、堀田照久、山地克彦、岸本治夫
13	平成 23 年 1 月 6 日	The 9th Yokohama Trace Element Workshop (Minamata, Kumamoto)	Chemical interaction of minor contaminants in coal-derived fuel gas on solid oxide fuel cell anode cermets	Koji KURAMOTO, Toshiyo FUKUSIMA, Koichi MATSUOKA, Yoshizo SUZUKI, Yasuaki UEKI, Ryo YOSHIIIE, Ichiro NARUSE, Kasuhiro KUMABE, Hiroshi MORITOMI
14	平成 23 年 9 月 15 日	第 43 回秋季大会 (名古屋)	固体酸化燃料電池アノード材料と石炭ガス化ガス中の微量不純成分の化学反応に関する調査研究	倉本 浩司、福島 登志代、松岡 浩一、鈴木 善三、Brito E. Manuel、岸本 治夫、山地 克彦、堀田 照久、横川 晴美
15	平成 23 年 10 月 9 日	ECS symposium on Electrochemical Utilization of Solid Fuels (Boston, USA)	Chemical degradation behavior of SOFC anode due to trace impurities of ppm order contained in a coal derived syngas	Koji Kuramoto, Toshiyo Fukushima, Koichi Matsuoka, Yoshizo Suzuki, Haruo Kishimoto, Katsuhiko Yamaji, Teruhisa Horita, Manuel E. Brito and Harumi Yokokawa
16	平成 23 年 12 月 1 日	ECS Transactions	Chemical degradation behavior of SOFC anode due to trace impurities contained in a coal derived syngas	K. Kuramoto, T. Fukushima, K. Matsuoka, Y. Suzuki, H. Kishimoto, K. Yamaji, T. Horita, M. E. Brito and H. Yokokawa
17	平成 24 年 7 月 23 日	粉体工学会第 44 回夏季シンポジウム (京都)	固体酸化物型燃料電池の石炭ガス化複合化に関する課題と取り組み	倉本浩司、福島登志代、松岡浩一、鈴木善三
18	平成 24 年 8 月 6 日	第 21 回日本エネルギー学会大会	石炭ガス化ガス中微量不純物による固体酸化物型燃料電池燃料極の性能劣化に関する基礎的研究	倉本浩司、福島登志代、細貝聡、松岡浩一、鈴木善三、笈田晃行、義家 亮、成瀬一郎、隈部和弘、守富 寛

—論文—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 21 年 10 月 4 日	ECS Transaction, vol.25(2)、pp.2149-2154	Effects of impurities contained in coal-derived syngas on the performance of SOFCs (誌上発表)	倉本浩司、松岡浩一、鈴木善三、岸本治夫、山地克彦、熊岳平、堀田照久、M. E. Brito、横川晴美
2	平成 22 年 5 月 17 日	Journal of Material Cycles and Waste Management, 12, 2 (2010) in press	Gaseous mercury oxidation behavior in homogeneous reaction with chlorine compounds	I. Naruse, R. Yoshiie, T. Kameshima, T. Takuwa,

①基盤的・共通的課題のための研究開発

(ii) 原料・材料の低コスト及び低コスト化セルスタック・モジュールの技術開発

a. 耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ材料の開発

－特許－

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 21 年 9 月 16 日	特願 2009-214525	耐酸化性に優れた固体酸化物形燃料電池用鋼	日立金属株式会社
2	平成 22 年 6 月 25 日	特願 2010-145373	耐酸化性に優れた固体酸化物形燃料電池用鋼	日立金属株式会社
3	平成 22 年 9 月 10 日	PCT/JP2010/65604	耐酸化性に優れた固体酸化物形燃料電池用鋼	日立金属株式会社

－論文－

No.	年月日	発表先	題目	発表者
1	平成 22 年 11 月 17 日	Journal of Power Sources	Effect of Mn-Co spinel coating for Fe-Cr ferritic alloys ZMG232L and 232J3 for solid oxide fuel cell interconnects on oxidation behavior and Cr-evaporation	日立金属 上原利弘

－研究発表・講演－

No.	年月日	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会	SOFC 金属インターコネクタ材 ZMG232L の長時間酸化挙動	日立金属 安田信隆
2	平成 21 年 10 月 5 日	SOFC-XI	Long Term Oxidation Behavior of Fe-Cr Ferritic Alloy ZMG232L for SOFC Interconnects	日立金属 上原利弘
3	平成 21 年 10 月 5 日	SOFC-XI	Improvement of Oxidation Resistance of Fe-Cr Ferritic Alloy Sheets for SOFC Interconnects	日立金属 安田信隆
4	平成 22 年 5 月 19 日	第 17 回燃料電池シンポジウム	SOFC 金属インターコネクタ材の開発状況	日立金属 安田信隆
5	平成 22 年 7 月 1 日	European Fuel Cell Forum	Development of A New Ferritic Alloy for SOFC Interconnects with Excellent Oxidation Resistance and Reduced Cr-evaporation	日立金属 安田信隆
6	平成 22 年 7 月 1 日	European Fuel Cell Forum	Effect of Mn-Co Spinel Coating for ZMG232L and Improved Fe-Cr Ferritic Alloy for SOFC Interconnects on Oxidation Behaviour and Cr-Evaporation	日立金属 上原利弘
7	平成 22 年 9 月 6 日	Asian SOFC Symposium	Development of A New Ferritic Alloy for SOFC Interconnects with Excellent Oxidation Resistance and Reduced Cr-evaporation	日立金属 安田信隆
8	平成 22 年 12 月 17 日	第 19 回 SOFC 研究発表会	SOFC 金属インターコネクタ材の開発状況	日立金属 上原利弘
9	平成 23 年 3 月 1 日	2011 TMS Annual Meeting & Exhibition	Development of A New Alloy for SOFC Interconnects	日立金属 安田信隆

－新聞・雑誌－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 22 年 3 月	日刊工業新聞、鉄鋼新聞、産業新聞、他	日立金属 国際水素・燃料電池展に出展	日立金属
2	平成 22 年 7 月	燃料電池 2010 年夏号 (vol. 10, No. 1)	SOFC 用金属インターコネクタ材 ZMG232L	日立金属 安田信隆
3	平成 22 年 11 月	型技術 (2010 年 11 月号)	材料特性から見た金属インターコネクタの特徴と金型への要求機能	日立金属 安田信隆

—展示会—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 22 年 3 月	第 6 回国際水素・燃料電池展	SOFC 用金属インターコネクタ 材 ZMG232L	日立金属
2	平成 22 年 10 月	Fuel Cell Seminar & Exposition 2010	Alloy for SOFC Interconnects ZMG232L	日立金属

①基盤的・共通的課題のための研究開発

(ii) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

b. セルスタック材料の低コスト化技術開発

(① (i) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究と一部重複記載)

(② (i) 運用性向上のための起動停止技術 (a. 高温円筒縦縞形) と一部重複記載)

(② (ii) 超高効率運転のための高圧運転技術と一部重複記載)

—研究発表・講演、文献等、その他—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 9 月 22 日	SOFC システム要素 技術開発研究発表 会	セルスタック原料・部材の低 コスト化及び低コストセルスタ ック・モジュールの技術開発	TOTO 株式会社、三菱重工 株式会社、三菱マテリア 株式会社、共立マテリア 株式会社、AGC セイメキカ ル株式会社
2	平成 20 年 10 月 15 日	4th International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells	Development of the 200kW class SOFC-MGT Combined Cycle System	加幡 達雄
3	平成 20 年 12 月 12 日	2008 年度ガスター ビンシンポジウム	200kW 級 SOFC-MGT 複合発電シ ステムの開発	加幡 達雄
4	平成 20 年 12 月 15 日	第 4 回 FC EXPO in 大阪	TOTO における SOFC の開発状況	上野 晃
5	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発 表会	円筒形 SOFC 高効率コンバインド サイクルシステムの開発	富田 和男、加幡 達雄、西 浦 雅則、古賀 重徳、眞竹 徳久、安藤 喜昌、小林 由 則
6	平成 21 年 1 月 1 日	月刊クリーンエネ ルギー誌	TOTO における SOFC の開発と今後 の展開	上野 晃
7	平成 21 年 2 月 27 日	FC EXP02009	TOTO における SOFC の開発状況	上野 晃
8	平成 21 年 4 月	セラミックス誌 2009 年 4 月号 特集 「固体酸化物形燃 料電池 (Solid Oxide Fuel Cell) の進展、課題、展望」	三菱重工における固体酸化物形 燃料電池 (SOFC) コンバインド サイクルシステム開発	玄後 義
9	平成 21 年 5 月 12 日	FCDIC 第 16 回燃 料電池シンポジウ ム	固体酸化物形燃料電池とガスタ ービンコンバインドによる高効 率発電システム	小林 由則、安藤 喜昌、 加幡 達雄、西浦 雅則

10	平成 21 年 7 月 2 日	平成 20 年度 NEDO 成 果報告シンポジウ ム	セルスタック原料・部材の低コ スト化及び低コストセルスタッ ク・モジュールの技術開発	TOTO 株式会社、三菱重工業 株式会社、三菱マテリアル 株式会社、共立マテリアル 株式会社、AGC セイメイケミカ ル株式会社
11	平成 21 年 7 月 9 日	化学工学会 関西支 部セミナー「省エネ ルギー戦略 -低炭 素社会時代を切り 開く省エネルギー 技術-	固体酸化物型燃料電池とガスタ ービンとのコンバインド高効率 発電システム	小林 由則
12	平成 21 年 9 月 11 日	2009 年電気化学秋 季大会	低純度原料を用いた SOFC 材料合 成検討	伊藤孝憲、車田全盛、白崎 紗央里、横手武徳、古山博 康、平井岳根、藤江良紀
13	平成 21 年 12 月 10 日	SOFC Seminar 2009 in Kyoto	Current Status and Future Prospects for Large-Scale SOFC Combined Cycle System	宮本 晃志
14	平成 21 年 12 月 11 日	産業技術総合研究 所 環境・エネルギ ーシンポジウム	固体酸化物形燃料電池とガスタ ービンの組み合わせによる最高 効率の火力発電システムの開発 状況	小林 由則
15	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発 表会	低純度原料を用いた SOFC 材料合 成検討	伊藤孝憲、車田全盛、白崎 紗央里、横手武徳、古山博 康、平井岳根
16	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発 表	ランタンガレート系電解質を用 いた低温作動 SOFC の開発(9)	中村慎、佐藤基樹、平田勝 哉、魚住学司、村上直也、 江藤浩之
17	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発 表会	SOFC-ガスタービン複合発電シ ステムの開発	加幡 達雄、西浦 雅則、富 田 和男、池田 浩二、古賀 重徳、宮本 晃志、安藤 喜 昌、小林 由則、眞竹 徳久、 佃 洋、末森 重徳
18	平成 22 年 1 月 22 日	第 38 回ガスタービ ン学会	SOFC-ガスタービン複合発電シ ステムの開発	安藤 喜昌、小林 由則、加 幡 達雄、西浦 雅則、池田 浩二、眞竹 徳久
19	平成 22 年 2 月 12 日	SPring-8 成果公開 優先利用課題 2009B1003 利用報告 書	低純度原料を用いた固体酸化物 型燃料電池材料の合成検討にお ける低純度原料、合成された材 料の構造解析及び不純物の定量	伊藤孝憲、白崎紗央里
20	平成 22 年 3 月 5 日	FC EXPO 2010 ~第 6 回 国際水素・燃 料電池展~	大型 SOFC コンバインド発電シ ステムの開発状況と今後の展開	小林 由則
21	平成 22 年 3 月	FC EXPO 2010 ~第 6 回 国際水素・燃 料電池展~	NEDO ブースヘルスタック展示	三菱重工業株式会社、三菱 マテリアル株式会社
22	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回 大会	低純度原料により合成した (La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> )(Co <sub>0.2</sub> Fe <sub>0.8</sub> )O <sub>3-δ</sub> の長 期アニール効果—導電率、不純 物—	伊藤孝憲、川田悦也、名田 大志、車田全盛、白崎紗央 里、西田有希、横手武徳、 古山博康、平井岳根、藤江 良紀
23	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回 大会	低純度原料により合成した (La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> )(Co <sub>0.2</sub> Fe <sub>0.8</sub> )O <sub>3-δ</sub> の長 期アニール効果—結晶構造解析 —	伊藤孝憲、川田悦也、名田 大志、車田全盛、白崎紗央 里、西田有希、横手武徳、 古山博康、平井岳根、藤江 良紀

24	平成 22 年 4 月 7 日	SPring-8 重点産業 利用課題 2009B1837 利用報告書	赤外分光法を用いた固体酸化物 型燃料電池材料の劣化挙動の考 察	伊藤孝憲
25	平成 22 年 7 月 7 日	平成 21 年度 NEDO 成 果報告シンポジウ ム	セルスタック原料・部材の低コ スト化及び低コストセルスタッ ク・モジュールの技術開発	TOTO 株式会社、三菱重工業 株式会社、三菱マテリアル 株式会社、共立マテリアル 株式会社、AGC セイメイケミカ ル株式会社
26	平成 22 年 7 月 15 日	くまもと技術革 新・融合研究会 (RIST) フォーラム	SOFC-ガスタービン複合発電シ ステムの開発状況	西浦 雅則

②実用性向上のための技術開発

(i) 運用性向上のための起動停止技術 (a. 高温円筒縦縞形)

(① (i) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究と一部重複記載)

(① (ii) 原料・材料の低コスト及び低コスト化セルスタック・モジュールの技術開発

b. セルスタック材料の低コスト化技術開発と一部重複記載)

—研究発表・講演—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 12 月 15 日	第 4 回 FC EXPO in 大阪	TOTO における SOFC の開発状況	上野 晃
2	平成 21 年 2 月 27 日	FC EXPO2009	TOTO における SOFC の開発状況	上野 晃

—特許—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 21 年 9 月 1 日	特願 22009-20143	燃料電池システム	TOTO

②実用性向上のための技術開発

(i) 運用性向上のための起動停止技術 (b. 中温円形平板形)

—研究発表・講演—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 21 年 5 月 12 日	第 16 回燃料電池シンポジウム	低温作動固体酸化物形燃料電池コジェネレーションシステム開発	衣笠 明 他
2	平成 21 年 7 月 2 日	平成 20 年度 NEDO 成果報告シンポジウム	NEDO 燃料電池・水素技術開発	加藤 正樹
3	平成 21 年 9 月 23 日	11th Grove Fuel Cell Symposium	Development of IT-SOFC Based on lanthanum gallate electrolyte	D. Ueno, et. al.
4	2009 年 10 月 4 日-9 日	216th The Electrochemical Society Meeting (Solid Oxide Fuel Cell-XI)	Development of Disk-Type Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell by KEPCO & MMC	F. Nishiwaki, et. al.
5	2009 年 11 月 16 日-19 日	International Conference on Power Engineering (ICOPE-09)	Development of IT-SOFC Based on lanthanum gallate electrolyte	D. Ueno, et. al.
6	2009 年 11 月 16 日-19 日	2009 Fuel Cell Seminar & Exposition	Progress in Development of IT-SOFC Based on Lanthanum Gallate Electrolyte	H. Eto, et. al.
7	2009 年 12 月 17 日-18 日	第 18 回 SOFC 研究発表会	ランタンガレート系電解質を用いた低温作動 SOFC の開発 (9)	中村 慎 他
8	平成 22 年 7 月 7 日	平成 21 年度 NEDO 成果報告シンポジウム	運用性向上のための起動停止技術開発	平田 勝哉
9	平成 22 年 5 月 19 日	第 17 回燃料電池シンポジウム	ランタンガレート系電解質を用いた中温作動 SOFC の開発	小路 剛史
10	平成 22 年 6 月 17 日	第 29 回エネルギー資源学会	ランタンガレート系電解質を用いた中温作動 SOFC の開発	北村 健太郎

—特許—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
-----	-----	------	-------	-------

1	平成 22 年 3 月 26 日	2010-73046	燃料電池システム	三菱マテリアル 関西電力
2	平成 22 年 3 月 26 日	2010-73047	平板積層形の燃料電池	三菱マテリアル 関西電力
3	平成 22 年 3 月 26 日	2010-73048	平板積層形の燃料電池	三菱マテリアル 関西電力

## ②実用性向上のための技術開発

### (ii) 超高効率運転のための高圧運転技術

#### (① (i) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究と一部重複記載)

#### (① (ii) 原料・材料の低コスト及び低コスト化セルスタック・モジュールの技術開発

##### b. セルスタック材料の低コスト化技術開発と一部重複記載)

### —特許—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 20 年 4 月 16 日	特願 2008-107046	燃料電池モジュール	三菱重工業株式会社
2	平成 20 年 4 月 23 日	特願 2008-112882	固体酸化物型燃料電池	三菱重工業株式会社
3	平成 20 年 12 月 11 日	特願 2008-315807	固体酸化物形燃料電池	三菱重工業株式会社
4	平成 20 年 12 月 22 日	特願 2008-325233	固体酸化物形燃料電池および 固体酸化物形燃料電池システム	三菱重工業株式会社
5	平成 20 年 12 月 26 日	特願 2008-331759	固体酸化物型燃料電池	三菱重工業株式会社
6	平成 20 年 12 月 26 日	特願 2008-332046	固体酸化物型燃料電池	三菱重工業株式会社
7	平成 21 年 6 月 18 日	特願 2009-145015 号	固体電解質型燃料電池インター コネクタ用材料、固体電解質 型燃料電池セル、及び、固体電 解質型燃料電池	三菱重工業株式会社
8	平成 21 年 11 月 30 日	特願 2009-272760 号	燃料電池	三菱重工業株式会社
9	平成 21 年 12 月 21 日	特願 2009-289807 号	固体酸化物形燃料電池発電シ ステム	三菱重工業株式会社
10	平成 21 年 12 月 21 日	特願 2009-289808 号	固体酸化物燃料電池及びその 運転方法	三菱重工業株式会社
11	平成 21 年 12 月 25 日	特願 2009-296153 号	固体酸化物形燃料電池システム	三菱重工業株式会社
12	平成 22 年 2 月 26 日	特願 2010-043519 号	固体電解質燃料電池用セルチ ューブ、及び固体電解質燃料電 池	三菱重工業株式会社
13	平成 22 年 2 月 26 日	特願 2010-043522 号	固体電解質型燃料電池	三菱重工業株式会社
14	平成 22 年 3 月 2 日	特願 2010-045906 号	燃料電池	三菱重工業株式会社
15	平成 22 年 7 月 13 日	特願 2010-159181 号	固体酸化物型燃料電池及びそ の製造方法	三菱重工業株式会社
16	平成 22 年 9 月 8 日	特願 2010-201043 号	固体酸化物形燃料電池の起動 方法	三菱重工業株式会社
17	平成 22 年 11 月 1 日	特願 2010-245218 号	燃料電池用集電棒のシール構 造	三菱重工業株式会社
18	平成 22 年 11 月 10 日	特願 2010-294249 号	固体電解質型燃料電池の起動 方法	三菱重工業株式会社

19	平成 22 年 12 月 17 日	特願 2010-282258 号	シール構成部材を形成する方法及び固体電解質型燃料電池モジュールの製造方法	三菱重工業株式会社
20	平成 22 年 12 月 28 日	特願 2010-294250 号	固体電解質型燃料電池の運転状態の監視方法	三菱重工業株式会社
21	平成 23 年 2 月 22 日	特願 2011-036327 号	固体酸化物形燃料電池及びそれを用いた固体酸化物形燃料電池の温度分布調整方法	三菱重工業株式会社
22	平成 23 年 2 月 22 日	特願 2011-036328 号	固体酸化物形燃料電池の熱交換用上部又は下部中子、及び固体酸化物形燃料電池	三菱重工業株式会社
23	平成 23 年 3 月 11 日	特願 2011-054726 号	固体酸化物形燃料電池集合体の上部支持構造	三菱重工業株式会社
24	平成 23 年 3 月 16 日	特願 2011-058589 号	燃料電池・ガスタービンコンバインド発電システム及びその燃料電池の起動方法	三菱重工業株式会社
25	平成 23 年 4 月 21 日	特願 2011-095477	燃料電池・ガスタービンコンバインド発電システム及びその燃料電池の停止方法	三菱重工業株式会社
26	平成 23 年 4 月 21 日	特願 2011-095478	燃料電池システム	三菱重工業株式会社
27	平成 23 年 5 月 31 日	特願 2011-122500	固体酸化物形燃料電池	三菱重工業株式会社
28	平成 23 年 6 月 24 日	特願 2011-141129	固体酸化物形燃料電池	三菱重工業株式会社
29	平成 23 年 10 月 5 日	特願 2011-221259	高温型燃料電池を有するガスタービンコンバインド発電システムおよび高温型燃料電池を有するガスタービンコンバインド発電システムの運転方法	三菱重工業株式会社
30	平成 23 年 11 月 30 日	特願 2011-261887	固体酸化物型燃料電池	三菱重工業株式会社
31	平成 24 年 1 月 5 日	特願 2012-000704	固体電解質型燃料電池の製造方法及び固体電解質型燃料電池	三菱重工業株式会社
32	平成 24 年 1 月 6 日	特願 2012-001455	固体電解質型燃料電池セルチューブの製造方法	三菱重工業株式会社
33	平成 24 年 1 月 6 日	特願 2012-037916	固体電解質型燃料電池セルチューブの製造方法	三菱重工業株式会社
34	平成 24 年 1 月 30 日	特願 2012-017331	固体酸化物形燃料電池の起動方法	三菱重工業株式会社
35	平成 24 年 1 月 31 日	特願 2012-018009	固体電解質型燃料電池	三菱重工業株式会社
36	平成 24 年 2 月 3 日	特願 2012-034328	燃料電池及びその酸化剤供給方法	三菱重工業株式会社
37	平成 24 年 2 月 17 日	特願 2012-033051	燃料電池及び燃料電池の停止時冷却方法	三菱重工業株式会社
38	平成 24 年 2 月 20 日	特願 2012-034326	燃料電池及びその酸化剤排出方法	三菱重工業株式会社
39	平成 24 年 2 月 20 日	特願 2012-034327	固体酸化物形燃料電池及び複合発電システム	三菱重工業株式会社
40	平成 24 年 2 月 20 日	特願 2012-022238	燃料電池及びその酸化剤供給方法	三菱重工業株式会社
41	平成 24 年 2 月 22 日	特願 2012-036309	固体酸化物形燃料電池の運転方法、複合発電システムの運転方法、固体酸化物形燃料電池システム及び複合発電システム	三菱重工業株式会社
42	平成 24 年 2 月 22 日	特願 2012-036438	固体酸化物形燃料電池	三菱重工業株式会社

43	平成 24 年 2 月 29 日	特願 2012-044427	SOFC 複合発電装置およびその 運転方法	三菱重工業株式会社
44	平成 24 年 2 月 29 日	特願 2012-044819	コンバインド発電システム、及 びコンバインド発電システム の運転方法	三菱重工業株式会社

—研究発表・講演—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 5 月 26 日	第 72 回 SOFC 研究会	三菱重工における SOFC 開発に ついて	小林 由則
2	平成 20 年 6 月 10 日	第 73 回 SOFC 研究会 (International Symposium on Durability and Reliability of Solid Oxide Fuel Cells)	Study on Degradation Behavior of Segmented-in-series Tubular SOFCs	富田 和男
3	平成 20 年 6 月 17 日	FC 懇談会	200kW 級 SOFC-MGT コンバイン ドサイクルシステムの開発	加幡 達雄
4	平成 20 年 9 月 18 日	2008 KOREA-JAPAN-CHINA SOFC SYMPOSIUM	Performance Improvement and Durability Test of Segmented-in-series Tubular Type SOFCs	富田 和男、加幡 達雄、佃 洋、 大隈 滋、宮本 晃志、山下 晃 弘
5	平成 20 年 10 月 15 日	4th International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells	Development of the 200kW class SOFC-MGT Combined Cycle System	加幡 達雄
6	平成 20 年 10 月 21 日	技術情報センターセミナー 燃料電池の開発動向と今後の 展望～MCFC、PEFC、S OFCの開発最前線～	固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の開発動向と今後の展開～ SOFC・ガスタービンコンバイン ドサイクルシステムの開発動向 ～	小林 由則
7	平成 20 年 10 月 30 日	FC Seminar	Development of the 200kW class SOFC-MGT Combined Cycle System with Tubular Type Cell-Stack	加幡 達雄、西浦 雅則、富田 和男、古賀 重徳、眞竹 徳久、 安藤 喜昌、小林 由則
8	平成 20 年 12 月 12 日	2008 年度ガスタービンシンポ ジウム	200kW 級 SOFC-MGT 複合発電シ ステムの開発	加幡 達雄
9	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会	円筒形 SOFC 高効率コンバ インドサイクルシステムの開 発	富田 和男、加幡 達雄、西浦 雅則、古賀 重徳、眞竹 徳久、 安藤 喜昌、小林 由則
10	平成 21 年 5 月 12 日	FCDIC 第 16 回燃料電池シン ポジウム	固体酸化物形燃料電池とガス タービンコンバインドによる 高効率発電システム	小林 由則、安藤 喜昌、加 幡 達雄、西浦 雅則
11	平成 21 年 7 月 9 日	化学工学会 関西支部セミナー 「省エネルギー戦略 -低炭素 社会時代を切り開く省エネル ギー技術-」	固体酸化物型燃料電池とガス タービンとのコンバインド高 効率発電システム	小林 由則
12	平成 21 年 12 月 10 日	SOFC Seminar 2009 in Kyoto	Current Status and Future Prospects for Large-Scale SOFC Combined Cycle System	宮本 晃志
13	平成 21 年 12 月 11 日	産業技術総合研究所 環境・エ ネルギーシンポジウム	固体酸化物形燃料電池とガス タービンの組み合わせによる 最高効率の火力発電システム の開発状況	小林 由則
14	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会	SOFC-ガスタービン複合発電シ ステムの開発	加幡 達雄、西浦 雅則、富 田 和男、池田 浩二、古賀 重徳、宮本 晃志、安藤 喜 昌、小林 由則、眞竹 徳久、 佃 洋、末森 重徳
15	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会	円筒形 SOFC 発電システムの信 頼性向上	末森 重徳、佃 洋、眞竹 徳久、富田 和男、古賀 重 徳、宮本 晃志、西浦 雅則、 池田 浩二、加幡 達雄、安 藤 喜昌、小林 由則

16	平成 22 年 1 月 22 日	第 38 回ガスタービン学会	SOFC-ガスタービン複合発電システムの開発	安藤 喜昌、小林 由則、加幡 達雄、西浦 雅則、池田 浩二、眞竹 徳久
17	平成 22 年 3 月 5 日	FC EXPO 2010 ～第 6 回 国際水素・燃料電池展～	大型 SOFC コンバインド発電システムの開発状況と今後の展開	小林 由則
18	平成 22 年 6 月 10 日	日本機械学会動力・エネルギーシンポジウム	SOFC の加圧下における性能向上とモジュール化についての研究	橋本 彰、小阪 健一郎、眞竹 徳久、木藪 敏康、小林 由則、加幡 達雄
19	平成 22 年 7 月 15 日	くまもと技術革新・融合研究会 (RIST) フォーラム	SOFC-ガスタービン複合発電システムの開発状況	西浦 雅則
20	平成 22 年 9 月 5 日	Asian SOFC Symposium	Development of SOFC-GT Combined Cycle System	吉田 慎、寺本 雄一、宮本 晃志、古賀 重徳、富田 和男、西浦 雅則、加幡 達雄、安藤 喜昌、小林 由則、眞竹 徳久、佃 洋、末森 重徳
21	平成 22 年 9 月 27 日	F-CELL 2010	Development of the SOFC-GT Combined Cycle System with Tubular Type Cell Stack	西浦 雅則
22	平成 22 年 9 月 29 日	大阪科学技術センター (OSTEC) 燃料電池部会 FCH 基盤技術懇談会 第 195 回定期研究会	SOFC-ガスタービン複合発電システムの開発	加幡 達雄
23	平成 22 年 10 月 13 日	火原協/平成 22 年度火力原子力発電大会	トリプルコンバインドサイクルによる最高効率発電システムの開発	小林 由則
24	平成 22 年 10 月 18 日	FC Seminar 2010	Development of the SOFC-GT Combined Cycle System with Tubular Type Cell Stack	富田 和男、西浦 雅則、古賀 重徳、宮本 晃志、寺本 雄一、吉田 慎、加幡 達雄、安藤 喜昌、小林 由則、眞竹 徳久、末森 重徳
25	平成 22 年 10 月 29 日	化学工学会 関西支部セミナー	SOFC と GTCC の組み合わせによる最高効率発電システムの開発	小林 由則
26	平成 22 年 11 月 3 日	SOFC 研究会 基礎セミナー	コンバインド SOFC システム	加幡 達雄
27	平成 22 年 11 月 6 日	第 2 回 九州パワーアカデミー研究部会シンポジウム	固体酸化物形燃料電池 (SOFC) 複合発電システムの開発	加幡 達雄
28	平成 22 年 11 月 11 日	東京ガスエネルギーソリューション総合展 熱電プラザ 2010 セミナー	SOFC と MGT を組み合わせた高効率ハイブリッドシステムの開発	小林 由則
29	平成 22 年 12 月 16 日	第 19 回 SOFC 研究発表会	SOFC-ガスタービン複合発電システムの開発	寺本 雄一、加幡 達雄、眞竹 徳久
30	平成 23 年 1 月 26 日	電気化学会主催セミナー「最先端電池技術」	三菱重工における SOFC-GTCC 開発状況	安藤 喜昌
31	H23 年 3 月 1 日	クリーンエネルギー	固体酸化物形燃料電池 (SOFC) トリプルコンバインドシステムの開発	西浦 雅則、加幡 達雄、岩田 光由、眞竹 徳久
32	平成 23 年 3 月 3 日	FC EXPO 2011 ～第 7 回 国際水素・燃料電池展～	SOFC トリプルコンバインドサイクルシステムの開発状況と今後の展開	小林 由則
33	H23 年 5 月 2 日	SOFC-XII	Development of the SOFC-GT Combined Cycle System with Tubular Type Cell Stacks	吉田 慎、加幡 達雄、西浦 雅則、古賀 重徳、富田 和男、宮本 晃志、寺本 雄一、眞竹 徳久、佃 洋、末森 重徳、安藤 喜昌、小林 由則
34	平成 23 年 9 月 12 日	日本機械学会 2011 年度年次大会「ワークショップ」	SOFC トリプルコンバインドサイクルシステムの開発	加幡 達雄

35	平成 23 年 10 月 20 日	火力原子力発電技術協会中部 支部主催講演会	SOFC と GTCC の組み合わせによる 最高効率発電システムの開発 (トリプルコンバインドサイクル™への挑戦)	小林 由則
36	H23 年 12 月 1 日	機械材料学 (東大講義)	燃料電池と材料	加幡 達郎
37	H23 年 12 月 8 日	第 37 回固体イオニクス討論会	SOFC-ガスタービン複合 発電システムの現状と今後の 展望	富田 和男
38	H23 年 12 月 12 日	第 20 回 SOFC 研究発表会	SOFC トリプルコンバインド サイクル システムの開発	吉田 慎、加幡 達雄、西浦 雅 則、富田 和男、宮本 晃志、 寺本 雄一、安藤 喜昌、眞竹 徳久、佃 洋、末森 重徳
39	平成 24 年 2 月 10 日	火力原子力発電技術協会東北 支部技術講演会	SOFC と GTCC の組み合わせによる 最高効率発電システムの開発 (トリプルコンバインドサイクルへの挑戦)	小林 由則
40	平成 24 年 2 月 29 日	FC EXPO 2012 ~第 8 回 国際 水素・燃料電池展~	SOFC トリプルコンバインドサイ クルシステムの開発状況と 今後の展開	小林 由則
41	平成 24 年 3 月 27 日	日本化学会第 92 春季年会	SOFC トリプルコンバインド サイクル システムの開発状況	小林 由則
42	平成 24 年 5 月 16 日	FCDIC 第 19 回燃料電池シンポ ジウム	SOFC トリプルコンバインドサイ クルシステムの開発	荒木研太、西浦雅則富田和男、 宮本晃志、寺本雄一、吉田慎、 眞竹徳久、佃洋、末森重徳、 加幡達雄、安藤喜昌、小林由 則
43	平成 24 年 6 月 22 日	動力・エネルギーシンポジウム	SOFC トリプルコンバインドサイ クルシステムの開発構想と 取り組状況	小林由則、富田和男、眞竹徳 久、
44	平成 24 年 6 月 28 日	10th EUROPEAN SOFC FORUM	Chromium Poisoning of LaMnO3-based Cathode within Generalized Approach	横川晴美、堀田照久、山地克 彦、岸本治夫、山本融、吉川 将洋、麦倉良啓、加幡達雄、 富田和男

—論文—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 21 年 2 月	粉体および粉末冶金第 56 巻第 2 号	Sr1-1.5xLa <sub>x</sub> TiO <sub>3</sub> の焼結性と電 気特性ならびに熱膨張挙動に 及ぼす La 置換の影響	佃 洋、大隈 滋、富田 和男
2	平成 21 年 5 月	日本ガスタービン学会誌 Vol. 37 No. 3	マイクロガスタービン-SOFC ハイブリッドサイクル	君島 真仁、加幡 達雄
3	平成 21 年 5 月	Electrochemistry(電気化学会 誌)	Optimization of Segmented-in-series Tubular SOFCs Using an La0.5Sr0.5-xCaxMnO3 System Cathode and the Generation Characteristics under Pressurization	富田 和男、久留 長生、加 幡 達雄、佃 洋、山下 晃 弘、山崎 陽太郎
4	平成 21 年 10 月	Electrochemistry(電気化学会 誌)	Structural Modification of Segmented-in-series Tubular SOFCs Using Performance Simulation and the Effect of (Sm, Ce)O <sub>2</sub> Cathode Interlayer on the Generation Characteristics under Pressurization	富田 和男、久留 長生、加 幡 達雄、佃 洋、山崎 陽 太郎

5	平成 21 年 12 月	Electrochemistry(電気化学会誌)	Optimization of Segmented-in-series Tubular SOFCs with an (La, Sr)CoO <sub>3</sub> System Cathode and the Generation Characteristics under Pressurization	富田 和男、山下 晃弘、佃 洋、加幡 達雄、池田 浩二、久留 長生、山崎 陽太郎
6	平成 22 年 5 月	日本機械学会 英文ジャーナル (Journal of Power and Energy Systems)	Study on Optimization and Scale-up of Pressurized Solid Oxide Fuel Cells.	橋本 彰、小阪 健一郎、眞竹 徳久、木藪 敏康、小林 由則、加幡 達雄、富田 和男
7	平成 22 年 5 月	オーム社 技術総合誌 特集 記事	固体酸化物形燃料電池とガスタービンの組み合わせによる最高効率の火力発電システムの開発	小林 由則
8	平成 23 年 11 月	ターボ機械誌	燃料電池複合発電システムの現況と展望	眞竹 徳久、西浦 雅則、富田 和男
9	平成 24 年 4 月	Electrochemistry(電気化学会誌)	SOFC-ガスタービン複合発電システムの現状と今後の展望	富田 和男、眞竹 徳久、西浦 雅則

—新聞・雑誌—

No.	年月	発表媒体	発表内容
1	平成 21 年 10 月 1 日	三菱重工ニュース(広報発表) ウェブ版・長崎ニュース	SOFC-MGT 複合発電で 3,000 時間運転を達成
2	平成 21 年 10 月 2 日	日刊工業新聞、日経産業新聞、 電気新聞、長崎新聞	SOFC-MGT 複合発電で 3,000 時間運転を達成
3	平成 24 年 年 6 月 4 日	日刊工業新聞、日経産業新聞、化学工業日報、 電気新聞、フジサンケイビジネスアイ、産経新聞	「トリプルコンバインドサイクル」要素技術開発 加速

## 2. 分科会における説明資料

次ページより、プロジェクト推進・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

エネルギーイノベーションプログラム

「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」  
(事後評価:2008-2012年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

2012年 10月19日

NEDO 新エネルギー部

1/68

発表内容

公開

I. 事業の位置付け・必要性	1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性 2. 事業の背景・目的・位置付け	NEDO
II. 研究開発マネジメント	1. 事業の目標 2. 研究開発の内容 2.1 研究開発の内容 2.2 研究開発の実施体制 2.3 研究開発の運営管理 2.4 研究開発の実用化、事業化に向けたマネジメント	NEDO
III. 研究開発成果	1. 各テーマの進捗と最終目標の達成度 2. 成果の普及 3. 最終目標の達成可能性	横川PL
IV. 実用化、事業化の見通しについて	1. 実用化、事業化の見通し 2. 波及効果	横川PL

2/68

「燃料電池」のエネルギー政策上の位置付け

新・国家エネルギー戦略	2006年 5月	燃料電池を基幹技術として位置付け。石炭ガス化燃料電池複合発電を総合資源戦略として位置付け。
Cool-Earth エネルギー革新技術計画	2008年 3月	燃料電池をCO2排出量の大幅削減を可能とする革新技術として選定。
環境エネルギー技術革新計画	2008年 5月	燃料電池を低炭素社会実現に必要な技術と位置づけ。
低炭素社会づくり行動計画	2008年 7月	2020～2030年に定置用燃料電池の本格普及を目指す。
エネルギー基本計画	2010年 6月	低コスト化を進め、燃料電池普及による天然ガスシフトを推進。
新成長戦略	2010年 6月	日本がイニシアティブを取り、国際標準化を推進。
日本再生戦略	2012年 7月	燃料電池自動車など次世代自動車による世界市場獲得、家庭用燃料電池の普及促進を目指す。



「燃料電池」は継続して、政策上の重要な技術分野となっている。

「Cool Earth エネルギー革新技術計画」

— 重点的に取り組むべきエネルギー革新技術 —

エネルギー源毎に、供給側から需要側に至る流れを俯瞰しつつ、効率の向上と低炭素化の両面から、CO2大幅削減を可能とする「21」技術を選定。



\*EMS: Energy Management System, HEMS: House Energy Management System, BEMS: Building Energy Management System

### 研究開発政策上の位置付け

#### 「エネルギーイノベーションプログラム」

- ・資源の乏しい我が国は、革新的なエネルギー技術の開発、導入普及により、次世代型のエネルギー利用社会の構築が不可欠。
- ・政府が長期を見据えた技術進展の方向性を示し、官民が共有することで長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能。

⇒ 本事業はこのプログラムの一環として実施。

#### エネルギーイノベーションプログラムの5つの柱

- ①総合エネルギー効率の向上
- ②運輸部門の燃料多様化
- ③新エネルギー等の開発・導入促進
- ④原子力等利用の促進とその大前提となる安全の確保
- ⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

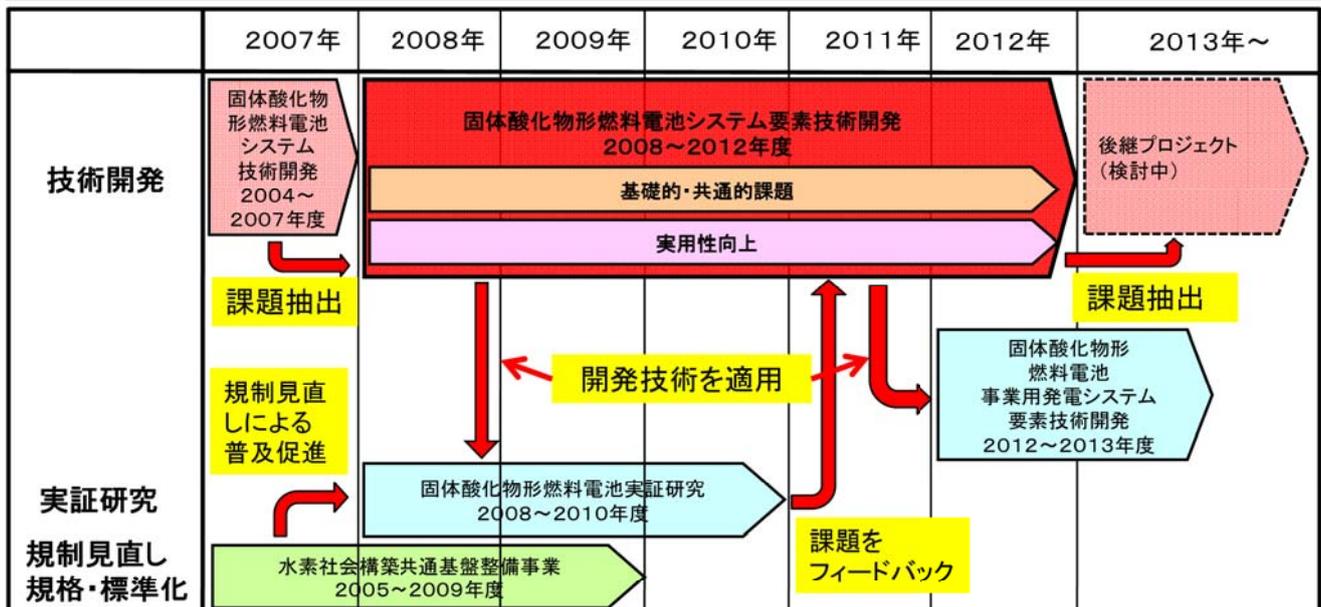


本事業で開発対象としているSOFCは、

- 高効率かつ低コストを目指した先進的技術(③)
- 化石燃料(天然ガス、石炭等)の有効かつクリーンな利用技術(⑤)に該当する。

### NEDOの関与の必要性

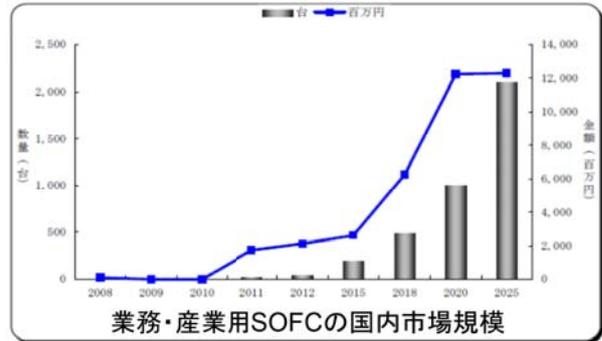
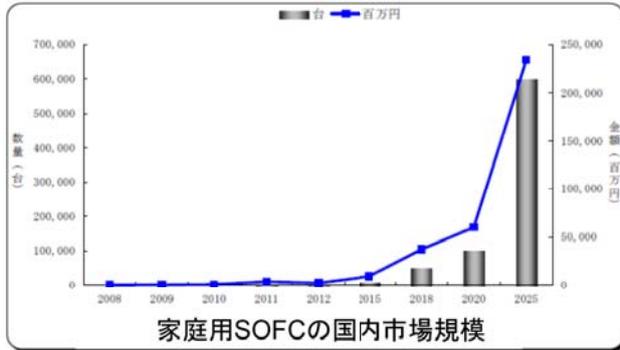
- ・SOFC普及には、技術開発、実証、規制緩和、規格標準化を連携・整合させて進める必要
  - ・SOFC劣化機構解明は技術的難易度が非常に高く、産学の緊密な連携が必須
- ⇒ NEDOによるプロジェクトマネジメントが適切かつ不可欠



## 実施の効果

### 【経済効果】

2025年のSOFC市場規模(家庭用及び業務・産業用)は、推定2,500億円。



出典：(株)富士経済「2010年版 燃料電池関連技術・市場の将来展望」

### 【CO2削減効果】

- ・家庭用SOFC(2025年予測 60万台)で78万トン/年。
- ・事業用SOFC(GTハイブリッド、トリプルコンバインド)は、既存発電技術との比較で約3割の削減効果。

## 事業立案時点における背景

～「固体酸化物形燃料電池実証研究」(2007～2010年度)～

本事業が立案段階にあった2007年度では、多数のシステムで性能劣化が顕著であり、市場導入レベルの耐久性確立に向けた劣化対策検討が必要であった。

SOFC実証研究の導入・運転実績

設置・運転事業者	燃料種	メーカー	貯湯槽容量	定格出力	H19年度	H20年度	H21年度	H22年度	合計
大阪ガス	都市ガス	京セラ	70 L	0.7kW	20	22	12		54
			50 L			3		3	
		70 L				23	12	35	
		90 L					29	29	
		TOTO	70 L					2	2
東京ガス	都市ガス	京セラ	70 L	0.7kW		1			1
			200 L		3	1		4	
		70 L				4	2	6	
		90 L					9	9	
		ガスター・リンナイ	80 L				2	2	
TOTO	70 L					1	1		
北海道ガス	都市ガス	京セラ	200 L	0.7kW	1				1
			70 L			1		1	
		70 L					1	1	
西部ガス	都市ガス	京セラ	70 L	0.7kW	1	1			2
			70 L				1	1	
		90 L					2	2	
東邦ガス	都市ガス	トヨタ・アイシン	70 L	0.7kW			1		1
			90 L					2	2
		日本特殊陶業	80 L					2	2
東京電力	都市ガス	京セラ	70 L	0.7kW		1	1		2
		京セラ	70 L				1	1	
東北電力	都市ガス	京セラ	70 L	0.7kW					
			70 L		1	1	14	27	43
		LPG	200 L						1
新日本石油	灯油	新日本石油	70 L	0.7kW	1	1	1	1	4
			70 L				6	10	16
		TOTO	130 L				2		
TOTO	都市ガス	TOTO	70 L	0.7kW					
			130 L		2			2	
			なし		2			2	
なし	なし	なし	2kW	なし					
			8kW						
9社	3種	6社9機種			29	36	67	101	233

SOFC実証研究の実施体制

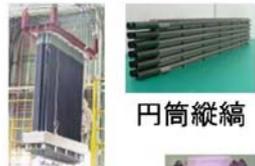
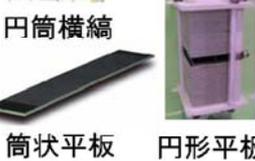


### 事業立案時点における背景

～前事業「信頼性向上に関する研究開発」の耐久試験結果～

- ・目標値0.25%/1000時間は達成できなかった。しかし、劣化に及ぼす諸因子(Cr被毒、気相経由での不純物の混入等)が抽出された。
- ・SOFCの耐久性向上には、異なる分野の知見を劣化問題に適用した集学的取組が必要であると、各有識者委員から指摘があった。

※2007年「SOFC技術の現状と課題」(NEDO)

スタックモジュール		平均劣化率 (%/1,000h)	主な劣化要因	スタック構造
高温型	円筒横縞	0.65~0.88	空気極界面でのCr被毒	 円筒縦縞
	円筒縦縞	1.6~1.67	燃料極の抵抗増加、異種界面での抵抗増大	
中温型	筒状平板	0.9~1.5	セル接続金属の酸化、劣化等による抵抗増大	 円筒横縞 筒状平板 円形平板
	円形平板	0.54~0.81	不純物による有効反応面積減少、燃焼域再酸化	

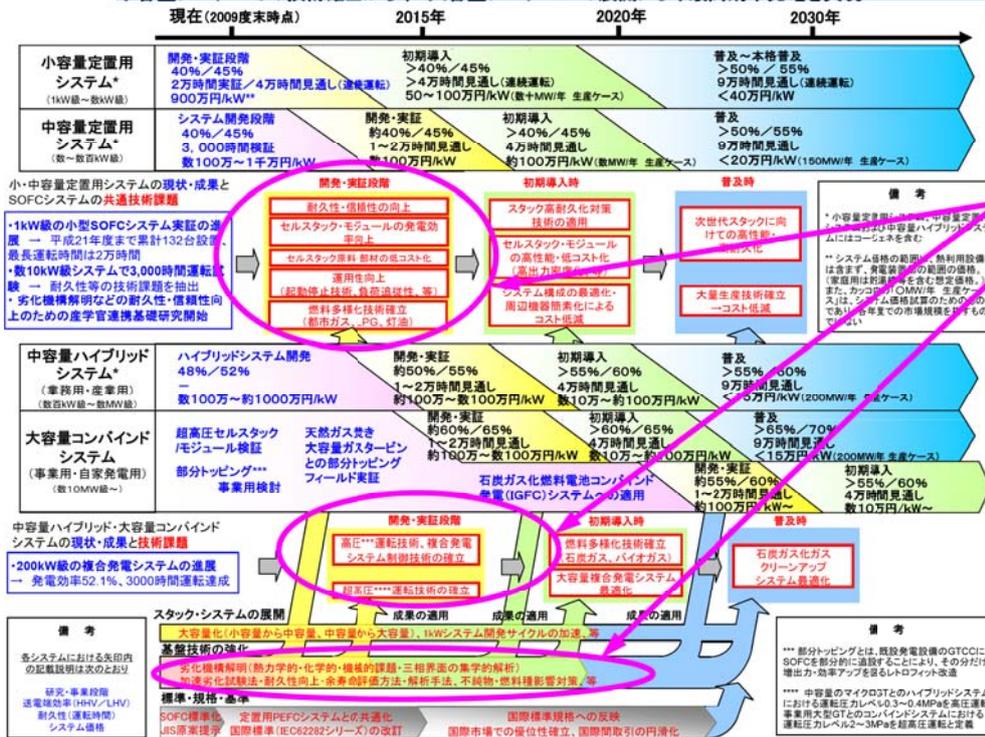
### 事業立案時点における背景

～前事業「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」のシステム試験結果～

- ・各システムで目標性能、3000時間連続運転は達成した。しかし、耐久性に関して更なる改善が必要と確認された。
- ・業務用等の中小システムでは運用性を向上させる起動停止技術が、事業用の大型システムではガスタービンとのコンバインドシステム構築のための高圧運転対応技術の開発が、それぞれ必要と確認された。

SOFCシステム		発電効率	劣化率	備考
コジェネレーションシステム	10kW級A	41%, HHV	1%/1,000h程度	10kW級システム 
	10kW級B	38%, HHV		
	20kW級	40%, HHV		200kW級システム 
コンバインドサイクルシステム	200kW級	52%, LHV		

## SOFC普及に向けた技術開発課題 ～「NEDO／SOFCロードマップ」(2010年6月改定)～



耐久性・信頼性向上、低コスト化、運用性向上(業務用)、高圧運転対応技術(事業用)がSOFC普及に向けた最優先課題とのステークホルダー間共通認識。

本事業において基盤技術、要素技術の確立に取り組んでいる。

## 米国のSOFC開発動向

DOEは2001年から、SOFCの性能・耐久性向上・低コスト化を目的とした技術開発を推進(SECA(Solid State Energy Conversion Alliance)プロジェクト)。現在は石炭ガス化ガス複合発電(IGFC)応用研究を中心に検討。現参加企業は、Fuel Cell Energy, Versa Power Systems, UTC Power, Delphi, Rolls-Royce。

Bloom Energy社は、100kW級SOFCシステム(名称:ES-5000 Energy Server)の商品化に2010年2月に成功し、その後積極的に事業を展開中。顧客はGoogle, FedEx, Wal-Mart, eBayなど。

欧州のSOFC開発動向

EUの財政支援により、SOFC関係の様々なプロジェクトが推進されている。  
(SOFC-FACT, SOFC-LIFE, MET-SAPP, DESIGN等)

独プロジェクトCalluxでは、SOFC/PEFCの家庭用CHPをフィールドテスト中。S  
OFCでの参画企業はHEXISとVaillant。

豪CFCL社(Ceramic Fuel Cell Limited)は独・英に向上を設立し、2kW級シス  
テムBlueGenを数100台規模でフィールドテスト中。最高効率60%LHV(DC)。

英Ceres Power社は金属支持形SOFCを用いた壁掛け形家庭用CHPを開発中。  
2014年度よりBritish Gasと実証試験を予定。

標準・規格・基準に係る状況

- ・定置用燃料電池(PEFC含む)のJIS規格を制定済。
- ・国際規格(IEC/TC105第1版発行済)との整合化進行中。

	年度	~2009	2010	2011	2012	2013~
国内	技術基準JIS	定置用燃料電池規格整備完了(PEFC含む) 認証基準に反映			国際規格と対応して適宜改訂	
	法規・規制	関連法規見直し完了(高圧ガス保 安法、消防法、電気記事業法)				
	認証体制	家庭用燃料電池認証システム検討委員会で策定した認証基準に基づき認証実施 (現行認証基準は第7版、随時見直し)				
国際	標準化	規格整備完了 (IEC/TC105第1版発行)			規格見直し (IEC/TC105第2版検討中)	
	法規・規制	各国法規・規制の情報収集 (北米規制はASTM、UL、EU規制はガス機器指令)				
	認証体制	国際認証制度の調査・検討 IEC/CABにて議論中(日本提案)				

I. 事業の位置付け・必要性	1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性 2. 事業の背景・目的・位置付け	NEDO
II. 研究開発マネジメント	1. 事業の目標 2. 研究開発の内容 2.1 研究開発の内容 2.2 研究開発の実施体制 2.3 研究開発の運営管理 2.4 研究開発の実用化、事業化に向けたマネジメント	NEDO
III. 研究開発成果	1. 各テーマの進捗と最終目標の達成度 2. 成果の普及 3. 最終目標の達成可能性	横川PL
IV. 実用化、事業化の見通しについて	1. 実用化、事業化の見通し 2. 波及効果	横川PL

II. 研究開発マネジメントについて 1. 事業の計画内容(研究開発の内容)

本事業の全体目的

SOFCシステムを早期に市場導入するために必要な基礎研究と要素技術開発を実施し、その基盤技術を確立する。

各研究項目・テーマの最終目標

研究開発項目	研究テーマ	最終目標(2012年度)
①基礎的・共通課題のための研究開発(委託)	(a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究	・4万時間(劣化率0.25%/1000時間)および起動停止250回の耐久性 ・加速劣化試験法の確立
	(b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発	・普及時のセルスタック製造コストとして5万円/kW程度の見通し → 最終目標ほぼ達成により、中間評価(2010年度)で前倒し終了
②実用性向上のための研究開発(1/2共同研究)	(a) 運用性向上のための起動停止技術	・4万時間(劣化率0.25%/1000時間)および起動停止250回の耐久性 → 追加的な基礎研究が必要と判明したため中間評価(2010年度)時に中止
	(b) 超高効率運転のための高圧運転技術	・4万時間(劣化率0.25%/1000時間)の耐久性 ・超高効率運転のための高圧運転技術の確立

**研究項目①「基礎的・共通的課題のための研究開発」**  
**「(a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究」**

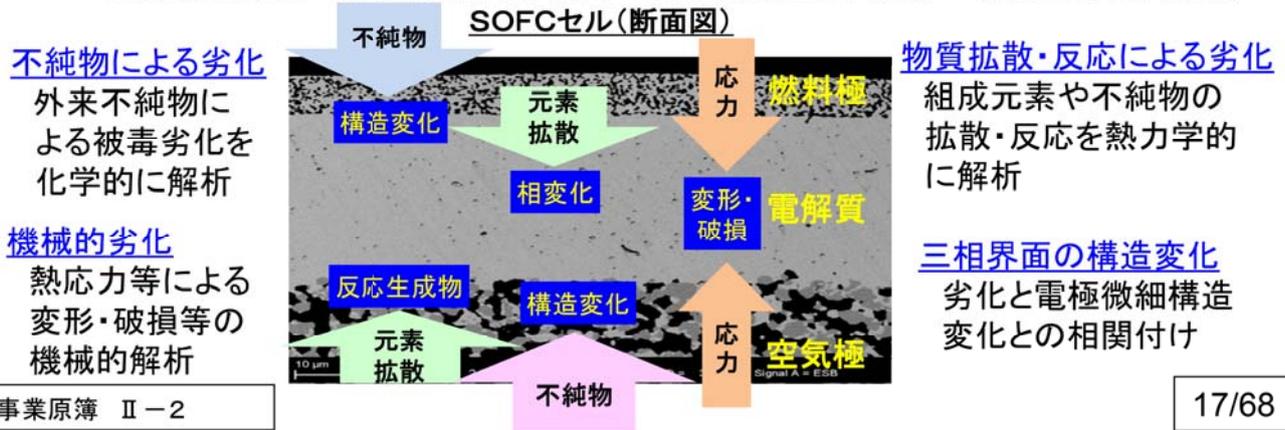
複数のセルスタックメーカーと大学・研究機関(基盤コンソーシアム)が密接に連携し、各セルスタックの構造・組成・製造法と劣化現象との相関を解明しながら、耐久性・信頼性向上を図る基礎研究を実施。

○最終目標(2012年度末)

- ・4万時間と起動停止250回(電圧低下率10%/250回)の耐久性の見通し。
- ・加速劣化試験法の確立。

○中間目標(2010年度末)

- ・劣化機構解明 ・加速劣化因子抽出 ・劣化対策立案・検証 ・余寿命評価式提案



**「耐久性・信頼性向上のための基礎研究」前半検討対象セルスタック**

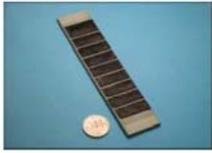
円筒縦縞形・円形平板形セルスタックは、「追加の基礎研究等が必要」と判断されたため(②実用性向上(a)起動停止技術)、前半で検討を終了。

項目	京セラ	東京ガス	三菱重工業	TOTO	三菱マテリアル関西電力
セルスタック外観	筒状平板形	筒状横縞形	円筒横縞形	円筒縦縞形	円形平板形
燃料極	Ni-YSZ	Ni-YSZ	Ni-YSZ	Ni-YSZ	Ni-SDC
電解質	YSZ	YSZ	YSZ	ScSZ	LSGMC
空気極	DC (中間層) LSF系	SDC (中間層) LSCF	LSCM	LSM / 中間層	SSC
動作温度	700~800°C	700~800°C	900~1000°C	900~1000°C	700~800°C

前半にて終了

「耐久性・信頼性向上のための基礎研究」後半検討対象セルスタック

前半検討の3セルスタックに加え、新たに小型円筒形の検討を開始。

項目	京セラ	東京ガス	三菱重工業	TOTO
セルスタック外観	 筒状平板形	 筒状横縞形	 円筒横縞形	 小型円筒形
燃料極	Ni-YSZ	Ni-YSZ	Ni-YSZ	Ni-GDC/ Ni-YSZ
電解質	YSZ	YSZ	YSZ	LSGM
空気極	DC (中間層) LSF系	SDC (中間層) LSCF	LSCM	DC (中間層) LSCF
動作温度	700~800℃	700~800℃	900~1000℃	600~700℃

研究項目①「基礎的・共通的課題のための研究開発」  
「(b)原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・  
モジュールの技術開発」

中間評価(2010年度)時点で「最終目標がほぼ達成された」と判断し、  
2010年度末をもって前倒し終了

複数のセルスタックメーカ(TOTO、三菱マテリアル、三菱重工業)と原材料・部材メーカ(日立金属、AGCセイメイケミカル、共立マテリアル)が連携し、セルスタックの低コスト化を図る技術開発を実施。

○最終目標(2012年度末)

普及期のセルスタック製造コストとして5万円/kW程度の見通し

(普及期の生産規模:

小容量 5万kW/年、

中容量 15万kW/年)

低コスト化対象の材料・部材

○中間目標(2010年度末)

・セルスタックメーカによる原料・部材の共通仕様の提案

・低コスト化の課題抽出と解決方針の策定

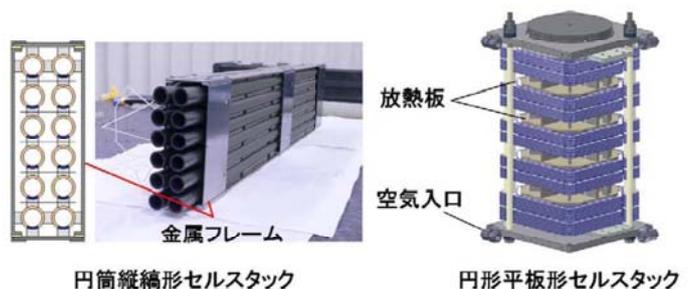
金属インターコネクタ材料		Fe-Cr系フェライト合金
セルスタック材料	燃料極	NiO-YSZ
		NiO-セリア (La,Sr)MnO <sub>3</sub>
	空気極	(La,Sr,Ca)MnO <sub>3</sub>
		(La,Sr)(Co,Fe)MnO <sub>3</sub>
		(Sm,Sr)CoO <sub>3</sub>

研究項目②「実用性のための研究開発」  
「(a)運用性向上のための起動停止技術」

中間評価(2010年度)時点で「最終目標の達成に向けて追加的な基礎研究等が必要なことが判明」したため、2010年度末をもって中止。

中小容量のSOFCを業務用システムとして市場に導入するため、円滑で安全かつ信頼性を有した起動停止方法の開発、セルスタック・発電モジュール構造の開発等を実施。  
(三菱マテリアル・関西電力、TOTO)

- 最終目標(2012年度末)  
4万時間および起動停止250回の耐久性の見通し。
- 中間目標(2010年度末)  
起動停止による熱サイクルの影響を評価し、熱衝撃緩和セルスタック・モジュール構造の確立。



円筒縦縞形セルスタック

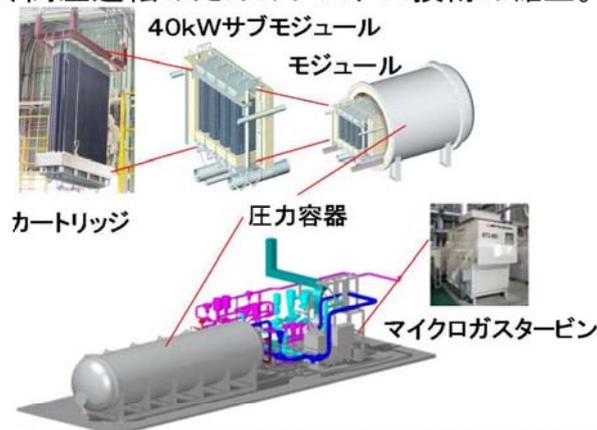
円形平板形セルスタック

検討対象のセルスタック構造

研究項目②「実用性のための研究開発」  
「(b)超高効率運転のための高圧運転技術」

超高効率の複合発電システムに適合させるための各種要素技術開発に取り組む。

- 最終目標(2012年度末)  
4万時間の耐久性の見通しおよび超高効率運転のための高圧運転技術の確立。
- 中間目標(2010年度末)  
ガスタービンとの組合せに適う圧力範囲で、起動停止や緊急時の安全停止を可能とすること等、高圧運転のためのシステム技術の確立。



200kW級SOFC-ガスタービン複合発電システム

研究開発スケジュール

研究開発項目	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度
①基礎的・共通的課題					
(a)耐久性・信頼性の向上のための基礎研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆長期運転と起動停止のセル内部への影響</li> <li>◆加速劣化試験方法の検討</li> <li>◆発電に伴う微細構造変化のデータ解析</li> <li>◆性能表示式の策定、余寿命予測式の開発</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆セルスタックの劣化機構解明</li> <li>◆加速劣化試験の検討</li> <li>◆余寿命予測式の開発</li> <li>◆シャットダウン耐性の検討</li> </ul>	
(b)原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆合金組成改良、表面処理適応による改良</li> <li>◆簡易耐久性評価技術による評価</li> <li>◆原料・部材の共通仕様候補の選定・試作</li> <li>◆低コスト化に必要な技術課題の抽出</li> </ul>			(前倒し終了)	
②実用性向上					
(a)運用性向上のための起動停止技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆起動停止試験による熱サイクル影響評価</li> <li>◆熱衝撃を緩和する構造検討(スタック、モジュール)</li> <li>◆要素試験の実施、起動停止条件の確立</li> </ul>			(中止)	
(b)超高効率運転のための高圧運転技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆セルスタック酸化還元サイクル耐性向上</li> <li>◆セルスタック・モジュールの耐差圧性向上</li> <li>◆要素試験の実施</li> <li>◆モジュール高圧運転対応・コンパクト化</li> <li>◆複合発電システム制御の信頼性向上</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆高圧下でのセルスタック発電特性試験</li> <li>◆複合発電システム試験</li> </ul>	

研究開発予算(NEDO負担額)の推移

(百万円)

研究開発項目	委託先/共同研究先	08-10年度	11年度	12年度	合計
①基礎的・共通的課題 (委託:NEDO全額負担)					
(a)耐久性・信頼性向上のための基礎研究	産業技術総合研究所、電力中央研究所、TOTO、三菱重工業、東北大学、東京大学、名古屋大学、岐阜大学、京都大学、九州大学、京セラ*1、東京ガス*1、三菱マテリアル*2、関西電力*2	2,470	265	265	3,000
(b)原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発	日立金属、TOTO、三菱マテリアル、三菱重工業、AGCセイミケミカル、共立マテリアル	474	-	-	474
②実用性向上(共同研究:NEDO 1/2負担)					
(a)運用性向上のための起動停止技術	TOTO、三菱マテリアル、関西電力	149	-	-	149
(b)超高効率運転のための高圧運転技術	三菱重工業	513	337	394	1,244
合計		3,606	602	659	4,867

### 研究開発の実施体制(前半)

NEDO

※再委託

プロジェクトリーダー:(独)産業技術総合研究所 横川晴美 招聘研究員

委託

研究開発項目① 基礎的・共通的課題のための研究開発

(a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

(企業)

TOTO、三菱重工業、三菱マテリアル、関西電力

(大学・研究機関)

産業技術総合研究所、東京大学、京都大学、九州大学、東北大学、名古屋大学、岐阜大学、電力中央研究所

(b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

TOTO、三菱重工業、三菱マテリアル、AGCセイミケミカル、共立マテリアル

日立金属(※東京工業大学、※三菱マテリアル)

共同研究

研究開発項目② 実用性向上のための技術開発

(a) 運用性向上のための起動停止技術開発

三菱マテリアル、関西電力(※ダイヘン)

TOTO

(b) 超高効率運転のための高圧運転技術の開発

三菱重工業(※トヨタ自動車)

### 研究開発の実施体制(後半)

NEDO

※再委託

プロジェクトリーダー:(独)産業技術総合研究所 横川晴美 招聘研究員

委託

研究開発項目① 基礎的・共通的課題のための研究開発

(a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

(企業)

TOTO、三菱重工業

(大学・研究機関)

産業技術総合研究所(共同実施企業:京セラ、東京ガス)、  
東京大学、京都大学、九州大学、東北大学、名古屋大学、岐阜大学、  
電力中央研究所

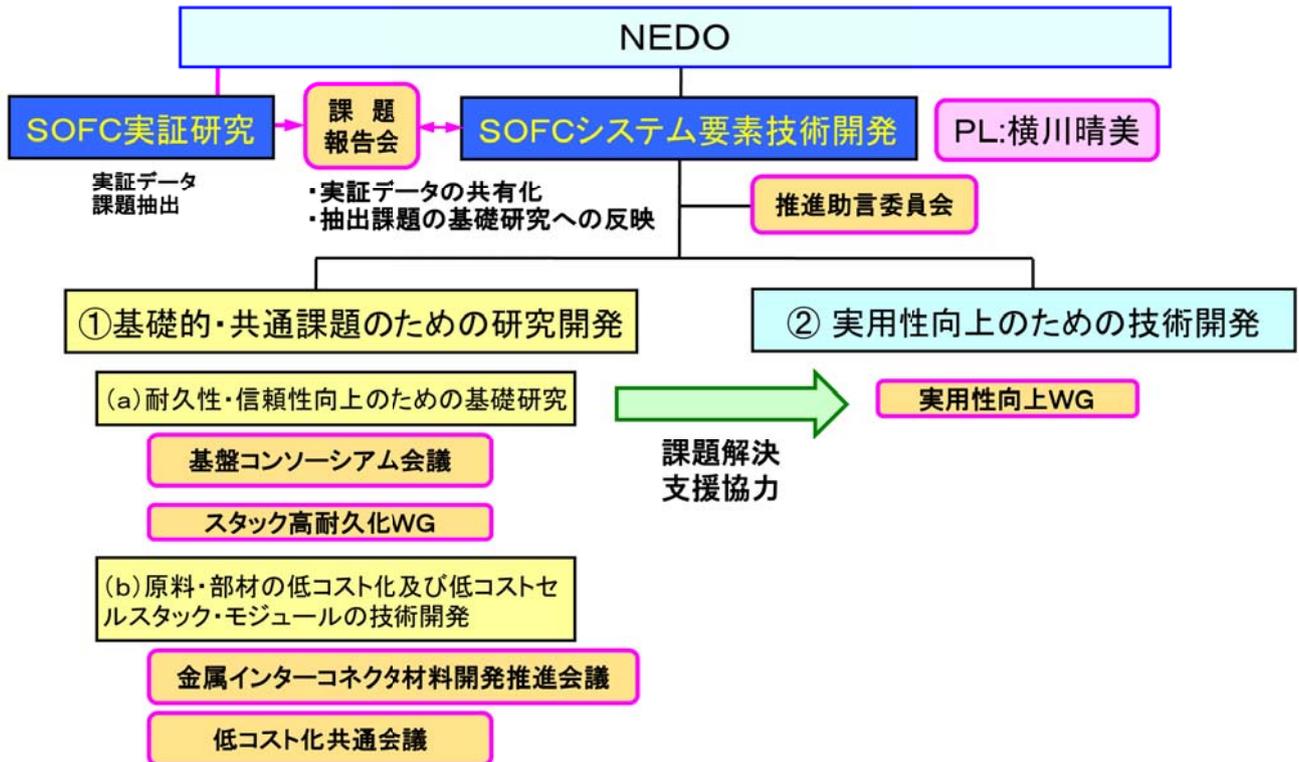
共同研究

研究開発項目② 実用性向上のための技術開発

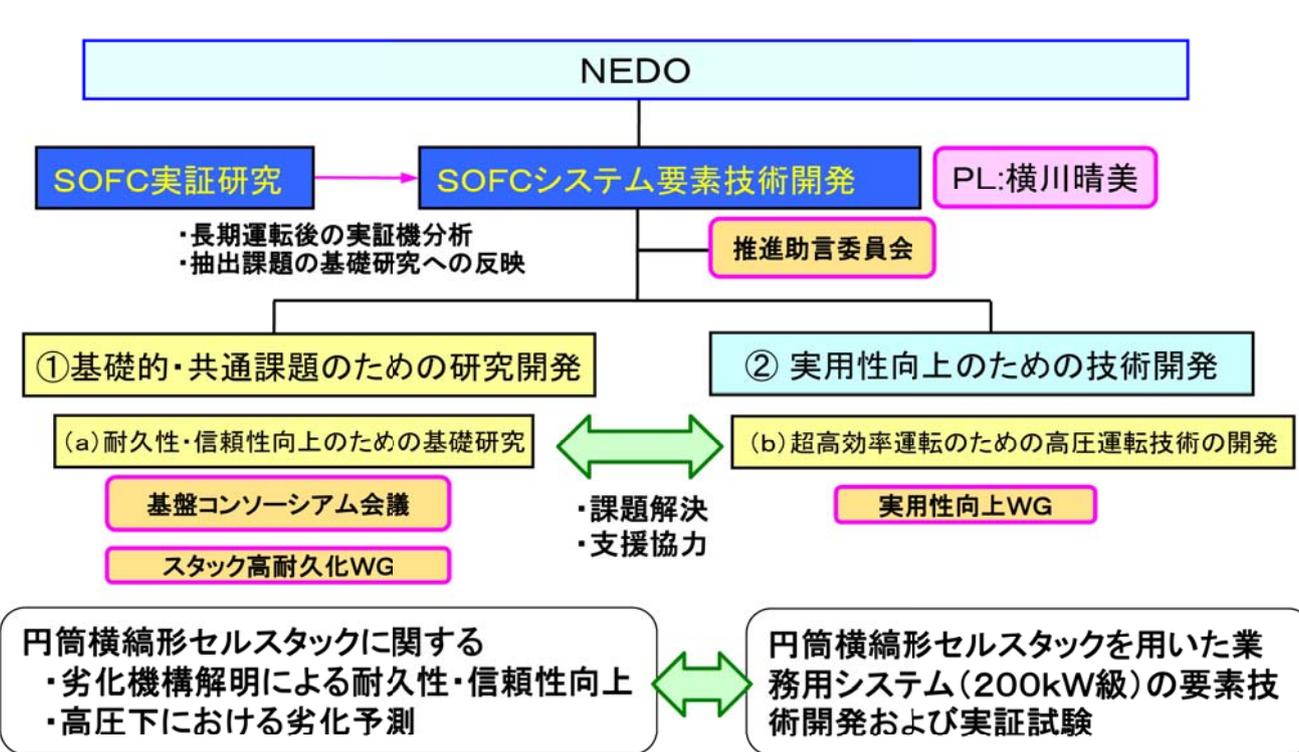
(b) 超高効率運転のための高圧運転技術の開発

三菱重工業(※トヨタ自動車)

本事業における委員会等(前半)



本事業における委員会等(後半)



本事業における委員会等の開催実績(前半)

	2008年度									2009年度									2010年度												
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
①SOFC推進助言委員会				○				○						○														○			
②基盤コンソーシアム会議			○						○				○								○	○	○				○		○		○
③スタック高耐久化WG				○		○							○										○					○			○
④金属インターコネクタ材料開発推進会議	○				○			○						○									○								○
⑤低コスト化共通会議													○			○							○	○	○						
⑥実用性向上WG				○		○							○										○					○			○

- ①SOFC推進助言委員会:外部有識者の意見やMETI/NEDOの意向を反映させる委員会
- ②基盤コンソーシアム会議:大学・研究機関を中心とした研究開発の進捗把握及び討議
- ③スタック高耐久化技術WG会議:スタックメーカーを中心とした研究開発の進捗把握及び討議
- ④金属インターコネクタ材料開発会議:金属材料メーカーを中心として進捗把握および討議
- ⑤低コスト化共通会議:材料メーカーとスタックメーカーを中心とした研究開発の進捗把握及び討議
- ⑥実用性向上WG:「実用性向上のための技術開発」の進捗把握及び討議

本事業における委員会等の開催実績(後半)

	2011年度												2012年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
①SOFC推進助言委員会				○								○						○						
②基盤コンソーシアム会議			○			○		○		○		○				○	○							
③スタック高耐久化WG							○			○		○			○									
⑥実用性向上WG							○					○				○								

- ①SOFC推進助言委員会:外部有識者の意見やMETI/NEDOの意向を反映させる委員会
- ②基盤コンソーシアム会議:大学・研究機関を中心とした研究開発の進捗把握及び討議
- ③スタック高耐久化技術WG会議:スタックメーカーを中心とした研究開発の進捗把握及び討議
- ⑥実用性向上WG:「実用性向上のための技術開発」の進捗把握及び討議

## 「耐久性・信頼性向上のための基礎研究」中間評価

2010年8月に中間評価を行い、委員からの評価・指摘事項を元に、実施方針の変更など、必要な対応を行った。

### 中間評価分科会委員(敬称略)

	氏名	所属、役職
分科会長	松永 守央	九州工業大学 学長
分科会長代理	下津 正輝	徳島文理大学 理工学部 機械創造工学科 教授
委員	泉 政明	北九州市立大学 国際環境工学部 機械システム工学科 教授
	徳下 善孝	電源開発株式会社 技術開発センター 副部長
	中川 紳好	群馬大学大学院 工学研究科 環境プロセス工学専攻 教授
	日比野 高士	名古屋大学大学院 環境学研究科 都市環境学専攻 教授
	宮本 明	東北大学 未来科学技術共同研究センター 教授

指摘事項	対応
中間目標達成を受け、より厳しい最終目標達成へ向けて産学が緊密に連携して、集中的・効率的に取り組むこと	(次ページ)
家庭用システムに比べ遅れている大規模発電用システムの検討を進め、早期の課題抽出と対策を行うこと	ハイブリッドシステム実証(2012年度)で検討
実用化へ向けたコスト削減方法を検討すること	本事業では企業ごとに検討

## 「耐久性・信頼性向上のための基礎研究」産学連携強化・集中と選択

中間評価(2010年8月)および推進助言委員会(2010年11月)の指摘を受け、下記のように産学連携強化、検討の集中と選択に関するマネージメントを行った。

### (1) 企業要望集約による産学連携強化

「スタック耐久性改善を基礎研究課題よりも優先度を上げ、

そのために各研究機関の役割分担を明確化すべき」という指摘

→ PLを通じて各企業から意見・要望を明文化して集約し、基盤研究機関に要請

→ NEDOとPLの協力により産学連携が一層緊密となり、重要課題の検討が進展例)・空気極中間層絶縁物生成に関し、企業・研究機関合同会議で集中討議

→ 空気極中間層作製プロセスを改善し、劣化率改善に寄与

・企業側より、シャットダウン耐性に関する追加検討の要望

→ 直ちに研究機関(九大)にてシャットダウン試験実施、詳細検討中

### (2) 検討セルスタックの集中と選択

「予算効率化、早期実用化を考慮して、SOFC形式の選択と集中を検討すべき」という指摘

→ プロジェクト後半では、検討対象セルスタックを絞り込み・変更

(円形平板形は終了、円筒縦縞形から小型円筒形へ変更)

## 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメント

### 【実用化・事業化に向けたマネジメント】

(1)「SOFC実証研究」において技術実証を完了(2010年度)、「水素社会構築共通基盤整備事業」において規制見直しを完了(2011年度)、国内JIS状況規格制定完了(2011年度)、国際標準化第1版制定(2010年度)など、SOFCの本格普及に向けて技術開発・制度整備を一体的に推進。

(2)2010年度に「SOFC技術開発ロードマップ」を策定し、市場導入～普及までの技術課題、開発目標仕様等をステークホルダー間で共有。ロードマップは2012年度中に改訂を予定。

(3)SOFCシステムのユーザとなるエネルギー事業者(ガス、石油、電力会社等)とも開発の方向性や実用化の戦略を議論。

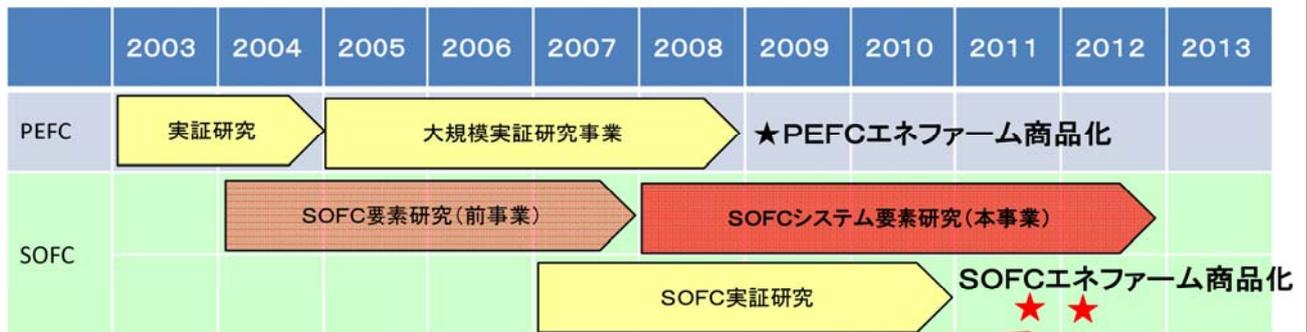
### 【知財マネジメント】

(1)セルスタックの耐久性の向上に係る知的財産は、各参加企業の事業化において根幹となることから、重点的に確保。(2011年度までの出願特許52件)

(2)大学・研究機関の基礎的・共通的研究で得られる知的財産は、今年度内にプロジェクト内で権利化の是非を議論し、権利化すべきものとそうでないものに仕分ける。

## 情勢変化への対応等

・本事業の成果等により、SOFCエネファームはPEFCに遅れることなく3年弱で商品化。小型SOFCシステムの商品化は世界初。  
 ・本格普及のためには、コストダウンと耐久性のより高レベルの両立が不可欠



**JX日鉱日石エネルギー**  
2011年10月17日  
販売開始



**大阪ガス・トヨタ・アイシン精機**  
2012年4月27日  
販売開始



I. 事業の位置付け・必要性	1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性 2. 事業の背景・目的・位置付け	NEDO
II. 研究開発マネジメント	1. 事業の目標 2. 研究開発の内容 2.1 研究開発の内容 2.2 研究開発の実施体制 2.3 研究開発の運営管理 2.4 研究開発の実用化、事業化に向けたマネジメント	NEDO
III. 研究開発成果	1. 各テーマの進捗と最終目標の達成度 2. 成果の普及 3. 最終目標の達成可能性	横川PL
IV. 実用化、事業化の見通しについて	1. 実用化、事業化の見通し 2. 波及効果	横川PL

III. 研究開発成果について

個別研究開発項目の目標と達成状況

	最終目標	成果	達成度	今後の課題
研究開発項目①基礎的・共通的課題のための研究開発				
(a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究	劣化因子の系統的な検討と加速試験法の提案。三相界面微構造の測定技術の確立。劣化要因分析技術の確立。  (耐久性4万時間(電圧低下率0.25%/1000時間の見通し。起動停止回数250回の見通しを得る。))	・特定された劣化部位の改善が進み耐久性・信頼性の目標をほぼ達成した。 ・抵抗増大要因を集学的分析し複雑な拡散現象を解明した。 ・Cr被毒の劣化機構を定式化した。 ・化学的・機械的相互作用として熱膨張・還元膨張を解析した	○	・低コスト化対策・高性能化と耐久性との両立 ・製造過程変更などによるスタック耐久性変化の迅速な評価技術の確立 ・集学的解析技術の深化:スタック劣化予測への収斂 ・シミュレーション技術の高度化
研究開発項目② 実用性向上のための技術開発				
(b)超高効率運転のための高圧運転技術	耐久性4万時間、超高効率運転のための高圧運転技術	・基礎研究とも連携した要素技術開発の成果を反映し、実証機を設計すると共に、セルスタック、カートリッジ、システムを製作し運転地点に据え付けた。	○	・250kW級SOFC-MGT実証機での基本性能、信頼性の検証 ・2MPa-aレベルでの性能及び耐久性の検証とトリプルコンバインドでの課題の明確化。

◎ 大幅達成 ○ 達成 ▽ 一部達成、× 未達

・実施者が留意した事項

・強力な産官学連携の推進。  
・基礎的検討手段の高度化・集学的手法の駆使

プロジェクトリーダー 横川晴美(産総研)

(スタック高耐久化技術WG)		(基盤技術コンソーシアム)	
<b>(1) スタック信頼性評価</b>		<b>(2) 劣化機構解明、加速劣化方法の確立</b>	
中温筒状平板形 (独)産業技術総合研究所、京セラ(株)		1. 熱力学的解析による劣化機構解明 (独)産業技術総合研究所	
中温筒状横縞形 (独)産業技術総合研究所、東京ガス(株)		2. 化学的解析による劣化機構解明 九州大学	
後期から参画 中温小型円筒形 TOTO(株)		3. 機械的解析による劣化機構解明 東北大学	
高温円筒横縞形 三菱重工業(株)		4. 三相界面での相関付け 京都大学、東京大学	
高温円筒縦縞形 TOTO(株)	前期のみ	5. 耐久性評価手法 (財)電力中央研究所	
中温円形平板形 三菱マテリアル(株) 関西電力(株)	前期のみ	6. 石炭ガス化ガス 産業技術総合研究所、 名古屋大学、岐阜大学	
<b>(3) 総括とまとめ(PL, 産総研)</b>			

・実施者が留意した事項

・実証研究との強固な連携

本プロジェクト初期  
プロジェクト成果を実証  
研究供試セルに反映

本プロジェクト後期  
実証研究供試セルの  
詳細分析

事業者	燃料	メーカー	H19	H20	H21	H22
筒状平板形	大阪ガス	都市ガス	京セラ	20	25	12
	東京ガス	都市ガス	京セラ	3	2	
筒状横縞形	都市ガス	ガスター・リンナイ (東京ガス機)			2	
筒状平板形	北海道ガス	都市ガス	京セラ	1	1	
	西部ガス	都市ガス	京セラ	1	1	
	東京電力	都市ガス	京セラ		1	1
	東北電力	都市ガス	京セラ			1
小型円筒形	TOTO	都市ガス	TOTO		2	6
		都市ガス	TOTO(2kW)	2		10

「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」  
～スタック耐久性に関する最終目標の達成状況～

耐久性4万時間(電圧低下率0.25%/1000 h)の見通し。起動停止回数250回の見通し

2012. 6 現在

■ 目標達成

■ ほぼ目標達成

■ 課題

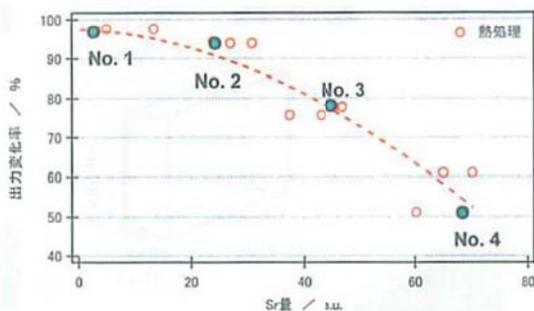
セルメーカー	セルスタック	耐久試験電圧低下率 (%/1000 h)				起動停止後電圧低下率	目標達成度	残された課題
		空気極	燃料極	抵抗分	全体			
筒状平板形 (京セラ)	2008年度機	0.09	0.05	0.12	0.26	120回で0.42%	達成	短時間で長期耐久を見通す評価技術
筒状横縞形 (東京ガス)		0.14 -0.04	0.12 0.12	0.37 0.40	0.63 0.24	100回0.8% (2000h耐久後)	初期劣化をのぞき達成	迅速な10年耐久見通し手法
小型円筒形 (TOTO)	2010年度機 2011年度機	0.6 0.3	0 0	0 0	0.6 0.3	150回SD耐性確認0%	空気極改善効果が見えてきた	更なる劣化機構解明。量産品耐久性検証。
円筒横縞形 (三菱重工業)	Type III Type V* Type VI	-0.02 0.09 0.01	-0.03 -0.01 -0.03	-0.04 0.09 -0.02	-0.09 0.17 -0.03	TC50回+ LC200回 0%	達成	空気極低温劣化の改善

\* Cr源有り

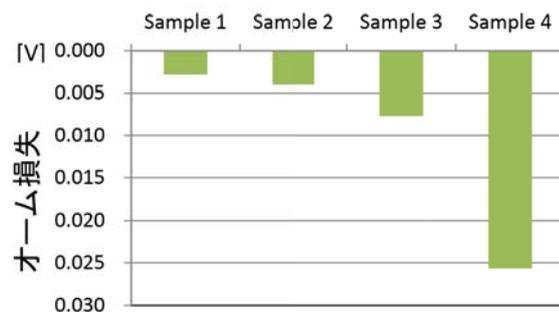
家庭用コジェネレーションシステム(筒状平板形)の着実な改善

経緯  
前Project 3年  
本Project 3年(前期)  
実証研究4年  
劣化機構解明が進展

	劣化率 2000h以降	劣化要因	対策・改善
単セル	0.08% /1,000h	熱加速により4万時間後のSrの影響予測。影響少ない	SrZrO3の生成状態と導電率をシミュレーションにより算出。傾向は有っているが絶対値が小さい。他成分の固溶を計算に導入。
スタック	0.16% /1,000h	セル接続金属における酸化皮膜増大と抵抗増 接続合金、マニホールドなどの金属成分からのCr蒸発	金属のコーティング改善により酸化皮膜を抑制。更なる改善中。 集電金属以外の金属部コーティング



熱処理によりSrを拡散させたセルの出力変化(実験値)



熱処理によりSrを拡散させたセルのオーム損失(計算値)

加速劣化試料の詳細な分析と、加速劣化試験法の適否の判断が必要

家庭用コジェネレーションシステム(小型円筒形)の進展

経緯  
実証研究3年  
本Project  
後期より参画  
劣化機構解明  
が先決

時期	劣化率	シャットダウン	目標達成までの展望
H24. 2月 (11仕様セル)	0.3%/1kh (評価中)	150回 (確認済)	・金属部材からのCr蒸発量の低減 ・空気極微構造の調整 ・空気極不純物の低減
H24. 8月 (12仕様セル)	0.0%/1kh (評価中)	(評価中)	・金属部材からのCr蒸発量の更なる低減 (作りこみ含) ・空気極不純物の低減・量産技術の確立

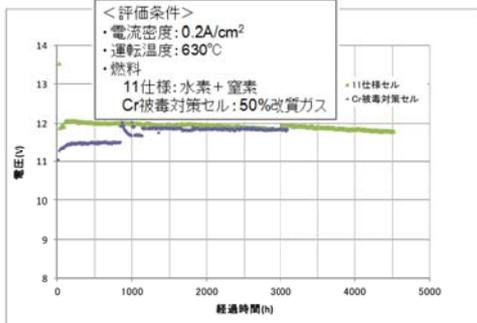


図 スタック連続運転結果

大幅に劣化率向上し、目標達成の見通し。

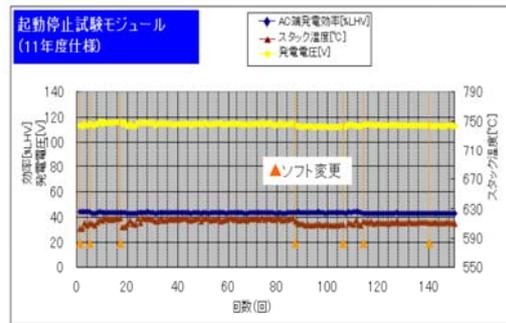


図 モジュールシャットダウン運転結果

150回で劣化無し。目標達成。

耐久性試験、起動停止試験後の試料の詳細分析と劣化機構解明に焦点を当てる。

中容量定置用、中容量ハイブリッドシステム用円筒横縞形の改善

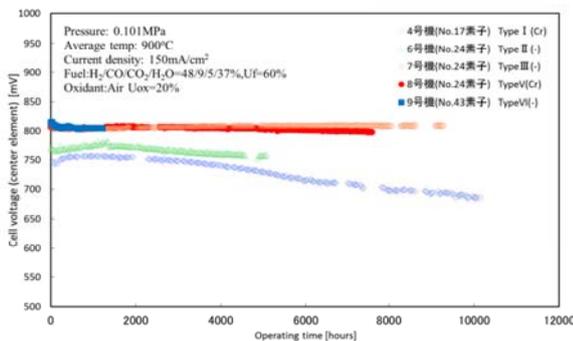
経緯  
前Project 3年  
本Project 3年(前期)  
劣化機構解明が進展  
空気極の課題が鮮明

耐久性の向上

- ・250kW級SOFC-MGT用の高出力型セルスタックを試作し約7000時間での経時的安定性を確認した。[劣化率:-0.04%/1000h]
- ・加速劣化条件にて劣化モデル材を作製し、10,000h以上の 耐久性についてシミュレーション。目標[4万時間で10%以下(電圧低下率.25%/1000h)] の達成見通しを得た。

超高効率運転の進展(予定)

- ①セルスタックの信頼性向上、②高密重点カートリッジの開発、③SOFCとトヨタ自動車製MGTを連携したコンパクト化/系統簡素化のシステム検証等の要素技術開発結果を基に、250kW級実証機を設計、製作した。今後、東京ガス構内で基本性能を確認するとともに信頼性を検証する予定である。



空気極の改良ならびにマンガナイト系空気極に特有なクロム被毒の克服

「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」  
～主な劣化現象の機構解明と加速試験法の適用状況～

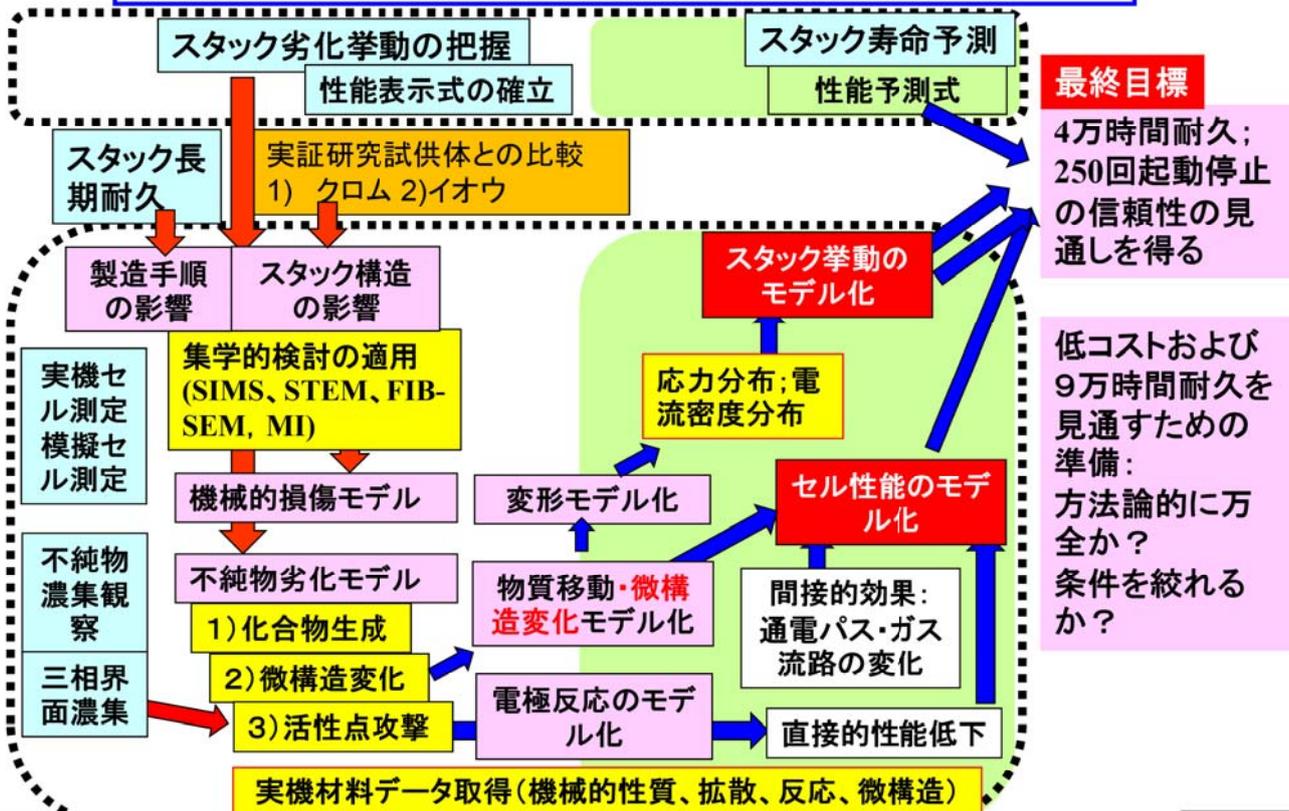
主な劣化現象の機構解明

前期: 製造手順と劣化との相関を明確化  
 後期: 空気極に明示的にあらわれていたので、集学的に検討  
 運転条件(温度、過電圧など)の影響が強いことを確認。  
 新しく獲得した視点: 一つの単純そうに見える劣化現象でも、高耐久性・高信頼性を維持するレベルでみると、複数の要因が複層、複雑に相互関連している。シミュレーションを用いた高度な迅速評価技術の必要性が明らかになった

加速劣化試験法: スタック側が提案実施し、基盤側が詳細解析し、その妥当性を検証するとともに、物理化学的に検討すべき課題を抽出した。

No.	劣化	部位	スタック	要因	加速試験	
①	Cr被毒	LSM電極	円筒横縞形	Cr蓄積	Cr発生合金の使用によるCr発生量増	過電圧の低下で大幅に減少
②	空気極劣化	セリア・LSM界面	円筒横縞形	緻密化	温度による緻密化加速	相関は取得; 低温劣化が未究明
③	Sr拡散	セリア中間層	筒状平板形	SrZrO <sub>3</sub> 生成	加熱による生成速度加速	3D微構造再構築による伝導度評価

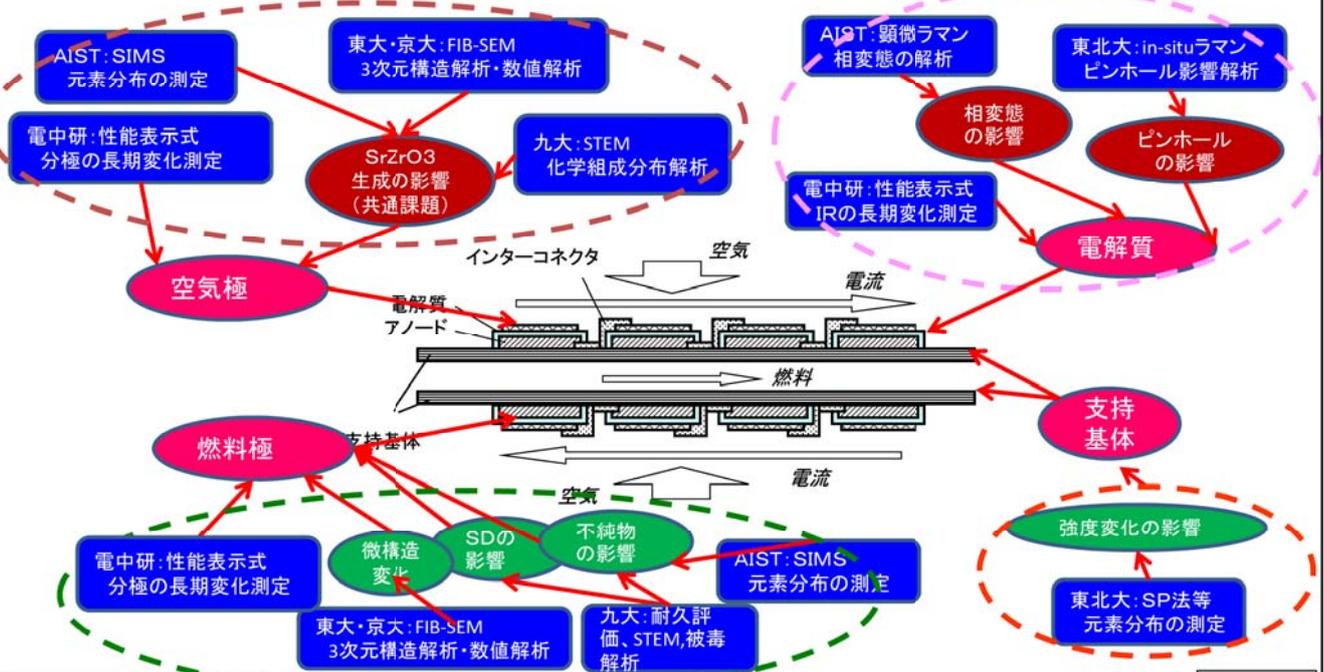
「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」～全体の進捗状況～



・実施者が留意した事項

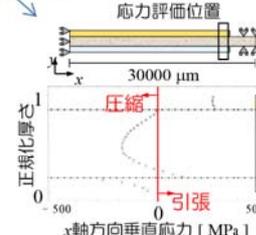
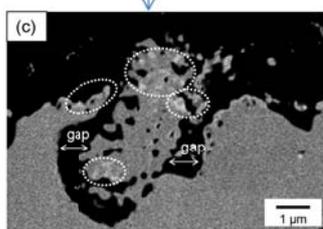
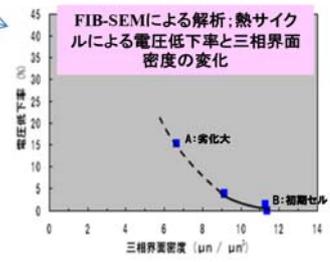
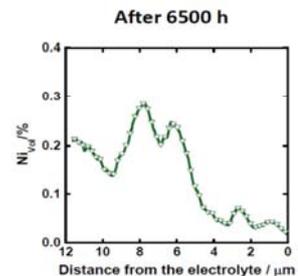
・強力な産官学連携の推進。  
・基礎的検討手段の高度化・集学的手法の駆使

筒状横縞形を例にした連携策



「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」  
～前期成果のまとめ～ 製造手順と劣化の相関

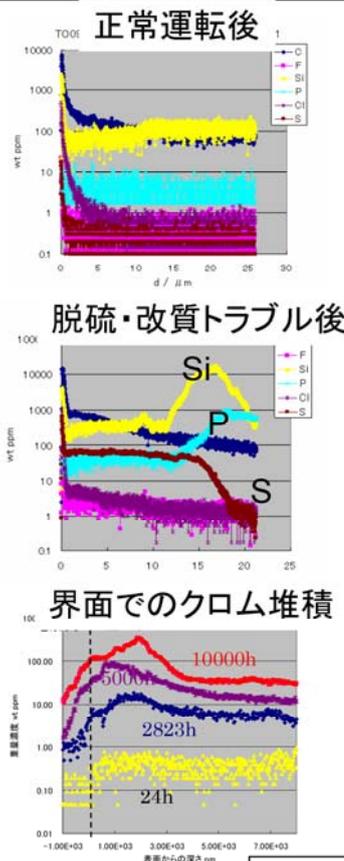
	製造手順	空気極	電解質	燃料極	IC	接続	耐久性現状
筒状平板形 (京セラ)	燃料極支持型	◎ 拡散				○	金属の空気中での使用
筒状横縞形 (東京ガス)	支持体使用 燃料極から	◎ 拡散					リークの克服
円筒縦縞形 (TOTO)	空気極支持型		● 燃料極側	●		△	燃料極側で不純物濃度大、
円形平板形 (MMC, KEPCO)	電解質支持	反応	○	●		○	金属IC; 燃料、空気中での不純物多い
円筒横縞形 (三菱重工業(株))	支持体使用; 燃料極から	◎ 拡散; Cr				△	Cr被毒検出 リークの改善



「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」  
～前期成果のまとめ～ 不純物被毒

		固相中濃度(SIMS観測値)			気相
	電極	10 ppm	100 ppm	1000 ppm	不純物ガス分圧
硫黄(S)	燃料極	要注意域	燃料極全域で危険		$10^{-6}$ to $10^{-4}$ 気圧
リン(P)	燃料極	三相界面危険			$10^{-9}$ to $10^{-6}$ 気圧
ケイ素(Si)	燃料極			三相界面危険	$\text{SiO}(\text{g}) < 10^{-10}$ 気圧
クロム(Cr)	空気極		LSM三相界面;危険		$10^{-9}$ to $10^{-8}$ 気圧

その他、  
空気極 :  $\text{SO}_2$ 、 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 、



「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」  
～後期成果のポイント～

前期成果

後期成果

②(a) 運用性向上のための起  
動停止技術

スタック構造の重要性  
電解質端部での応力集中  
電解質非発電部での粉化

①(a) 耐久性・信頼性向上

製造手順と劣化との相関  
気相不純物による劣化  
(Cr,S,Si,P)

運転条件の重要な役割に注目

電解質内での酸素ポテンシャル分布の違い

- ⑤ 応力・変形解析
- ④ Ni固溶による相変態促進

運転温度の違い(空気極劣化)

- ③ 抵抗成分(高温ほど著しい)
- ② 不純物の影響(低温ほど著しい)

過電圧の低下;電流密度増大

- ① Cr被毒

「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」  
 ～後期取り組みのポイント: 空気極の集学的検討～

	円筒横縞形 (三菱重工業)	筒状横縞形 (東京ガス)	筒状平板形 (京セラ)	小型円筒形 (TOTO)
運転温度	900℃	775-800 ℃	750℃	650℃
セリア層	有り	有り	有り	無し
他材料(IC)	酸化物IC	酸化物IC	酸化物+金属	金属IC
Cr含有材料				

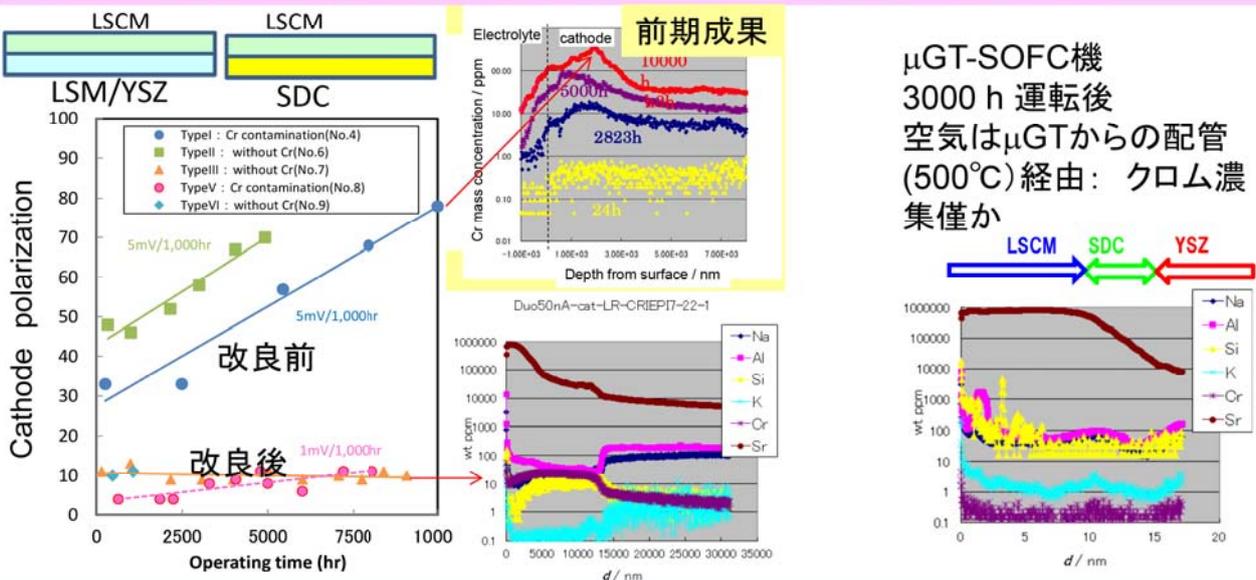
電中研による性能評価のまとめ(2012. 2現在)

空気極過電圧・劣化率	4-10mV 0%	31-36mV 0.08%	30-40 mV 0.03-0.08%	84-95 mV 0.3-1.1%
抵抗値・劣化率	47-58mV 0%(除く低温)	176-195mV 0.35%	90 mV 0.22-0.48%	96-97 mV 0%

抽出課題: 運転温度の影響(低温ほど劣化大) 過電圧の影響; セリア中間層の影響

「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」  
 ～成果 1, 空気極クロム被毒、過電圧の重要性～

後期成果: 前期成果微構造改良による過電圧の大幅な減少・クロム被毒の低減

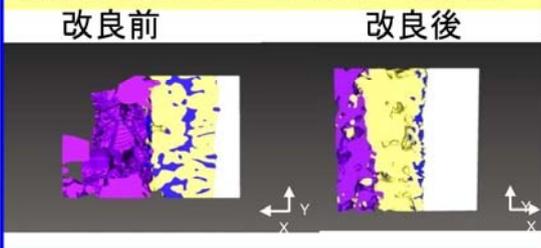


μGT-SOFC機  
 3000 h 運転後  
 空気はμGTからの配管  
 (500℃) 経由: クロム濃  
 集僅か

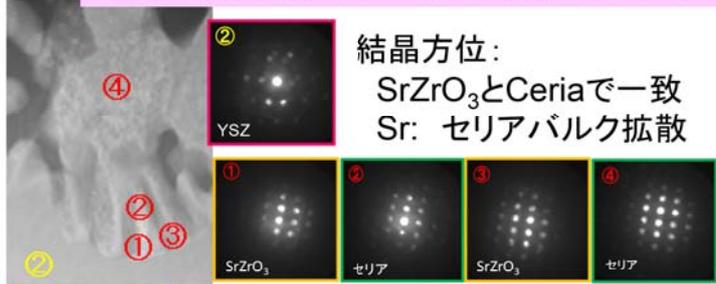
稼働条件(特に過電圧の影響): 前期集学的解析結果から空気極構成を変更した結果大幅な過電圧の低下を実現し、更にクロム堆積・クロム被毒の軽減を同時に実現した。金属製空気配管の使用が、実質的に加速試験として機能していた。

「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」  
 ～ 成果 2, SrZrO<sub>3</sub>生成（加速劣化が可能か）～

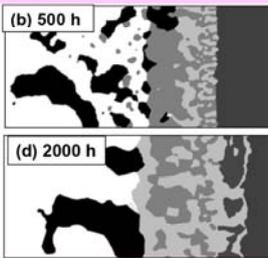
前期成果：京大(FIB-SEM)による三次元像の構築とその実機への適用



九大 硫黄被毒試験セルの電子線回折像

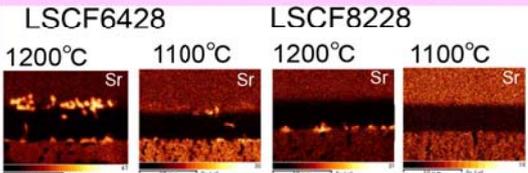


京大・東大・京セラ：1000℃加速試料の評価



1000℃加熱  
 段階的にSrZrO<sub>3</sub>生成域が発展  
 初期以外は、Zrもセリア内拡散  
  
 生成域の3D再構築データから  
 伝導度の解析：パス上組成を考慮すると良い一致

産総研：PLD膜での拡散実験(168h)

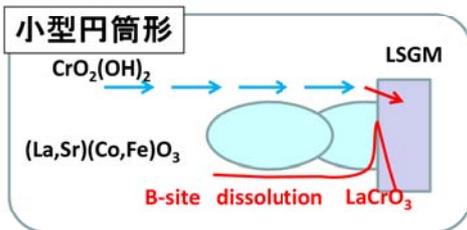


Zr, Srの拡散を確認、温度、組成

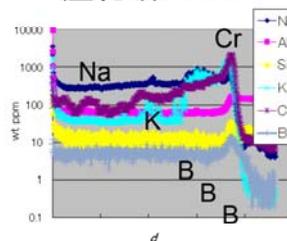
生成機構には、Sr拡散ばかりでなくセリア中のZr拡散も関与。良い空気極ほどセリア中のZr拡散がなくSrZrO<sub>3</sub>は薄膜上にセリア・YSZ界面に生成する。製造法の重要性を示唆。

「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」  
 ～ 成果 3, 運転温度依存性～

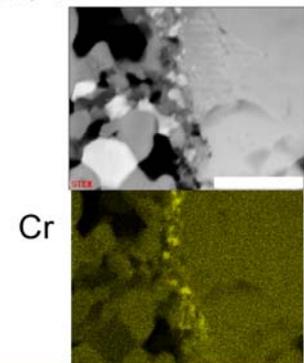
低温における劣化：



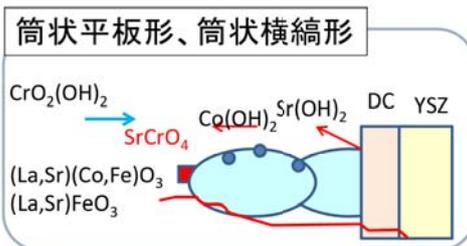
産総研SIMS



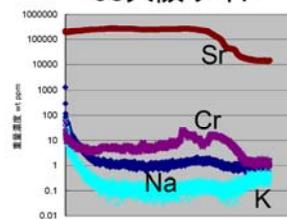
九大STEM



中温Cr被毒



産総研SIMS  
 08大阪サイト



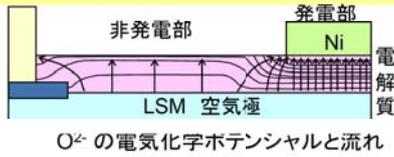
低被毒の理由付け

電極表面でSrCrO<sub>4</sub>生成によるトラップ率大  
 Srの輸送は気相経由（TPBから表層へ）  
 セリア中間層からの水蒸気発生

後期の焦点：活性な空気極であっても、750-800℃と650℃ではその挙動に大きな相違が認められる。その原因を究明できれば、更に性能が上がり、劣化も少なくなると予想。

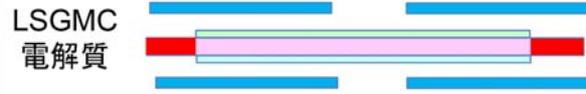
「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」  
 ～成果 4, 製造手順と電解質の信頼性～

前期成果=空気極支持セル電解質粉化



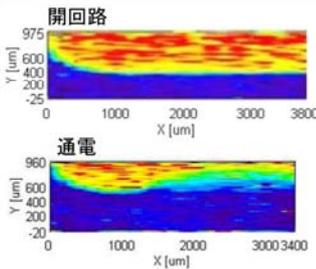
原因: 焼成時固溶したMnが稼働中徐々に燃料側から析出・粉化  
 機構: 燃料側が高酸素分圧化+シリカによる核形成助長

前期成果=電解質支持セル電解質応力集中



原因: セル外側で残燃料を燃焼させるためにセル端部の酸素ポテンシャルが高酸素分圧になりセル内に急峻な勾配を生じさせ、体積変化から応力の集中、クラック発生にいたる。

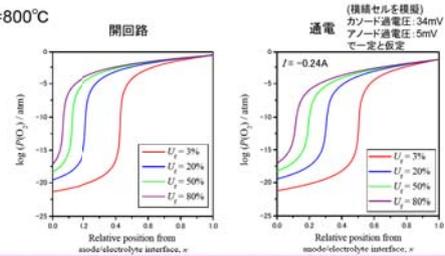
燃料極支持セル=固溶NiOによるYSZ電解質変態の促進&伝導度低下



開回路と通電下では酸素ポテンシャル分布が異なるため正方晶変態域が異なり、伝導度低下が異なる。

稼働条件 (温度、過電圧、組成)

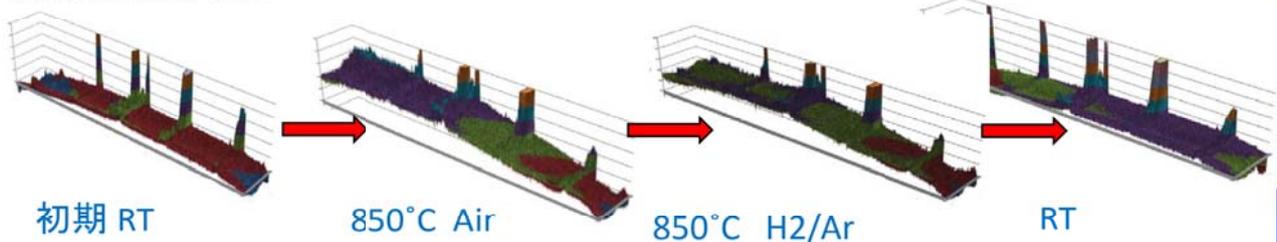
SOFC作動下におけるポテンシャル分布の変化



新たに得た視点: 電解質中に原子価が変化するイオンがあると、起動停止時にあるいは長期運転時の過電圧増大による酸素ポテンシャル変化によって酸化還元を受ける。Julich研究所で観察された16000h稼働後のセル割れの原因を推測可能にした。

「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」  
 ～成果 5, セル集合体としての機械的信頼性～

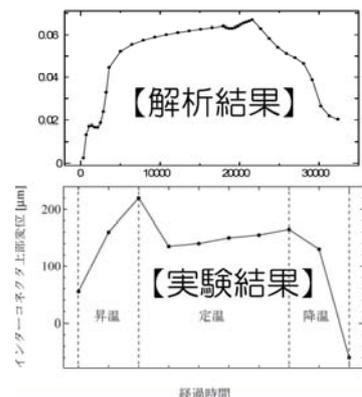
模擬セル変形観測



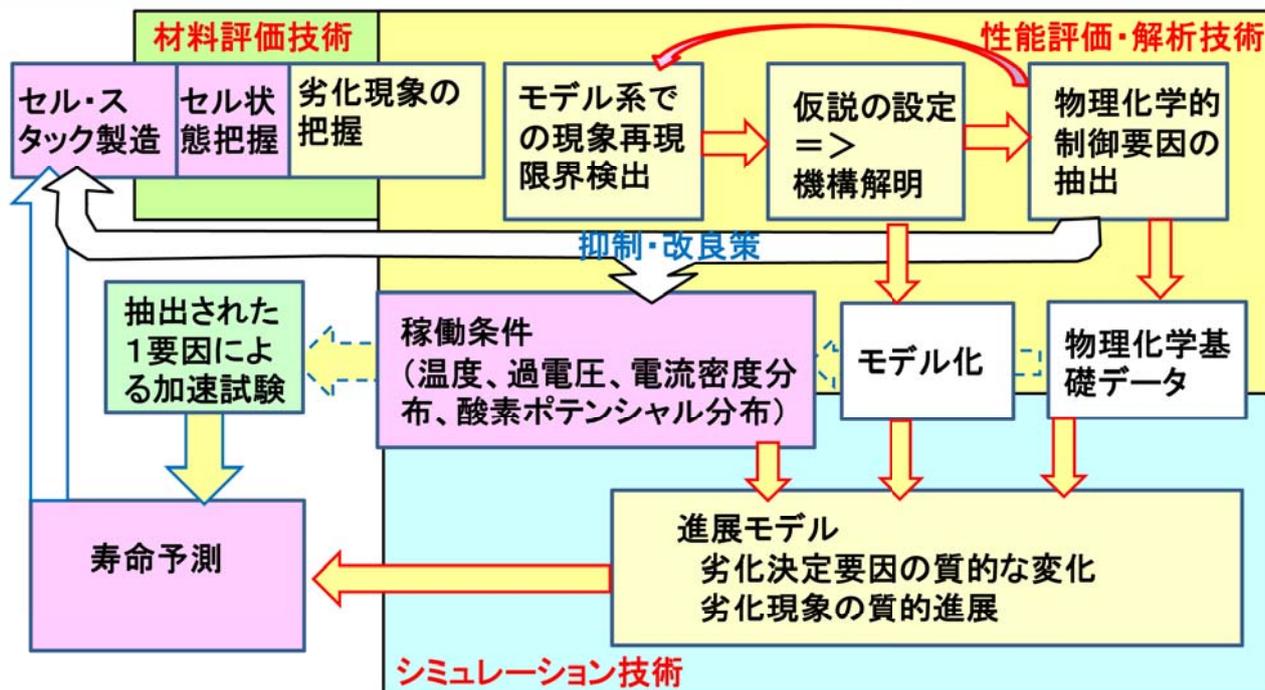
運転条件を考慮したシミュレーションの重要性

1. 均質化解析  
 ミクロ構造からマクロ特性値
2. マクロ化学ポテンシャル・濃度拡散解析  
 酸素ポテンシャルの時間発展
3. マクロ応力解析  
 熱膨張、化学膨張

変形の傾向を再現、但し還元膨張の状況などが異なり、パラメータの最適化が必要。



「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」  
 ～加速劣化試験と劣化機構解明; 今後の取り扱い～



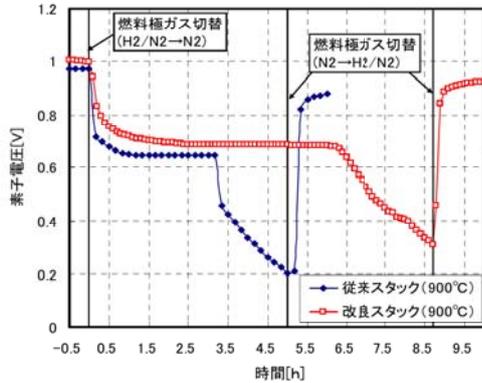
「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」  
 ～今後の課題～

- 低コスト化と高耐久性との両立の確立のために迅速評価技術の確立が望まれる。
- 1) 製造後セル・部位の特性評価の高度化: 製造直後の特性評価を行い、性能および劣化との相関を明らかにするための技術。
  - 2) 稼働中・起動停止中におこる変化の把握。性能変化がおこる前の潜伏期間に生じる微細な材料変化を捉える。特に本プロジェクトでは、酸素ポテンシャル分布がどのように運転状況によって変化するかが重要な情報であることが示唆された。
  - 3) 微細な電気化学的性能変化の把握。短期間で長時間の見通しを得るためには、性能変化の微小変化を測定・解析する技術が必要となる。本プロジェクトで取り扱ったSIMS、FIB-SEM、STEMなどはどれも貴重な情報を提供する優れた分析機器となっている。これらの機器を用いて、解析し、更にシミュレーションと結びつける複層的な解析技術が今後ますます重要となるであろう。
  - 4) 劣化に関連した現象で質的な変化の把握。単純な加速劣化手法ではとらえられない、複雑要因による劣化、複層的に進行する劣化、相互干渉的に起こる劣化などの取り扱い技術の深化。
  - 5) シミュレーション技術および進展モデルの開発。時間変化、稼働条件の変化などの基本的なパラメータが規定する中で生じる劣化現象を把握するシミュレーション技術が必要。

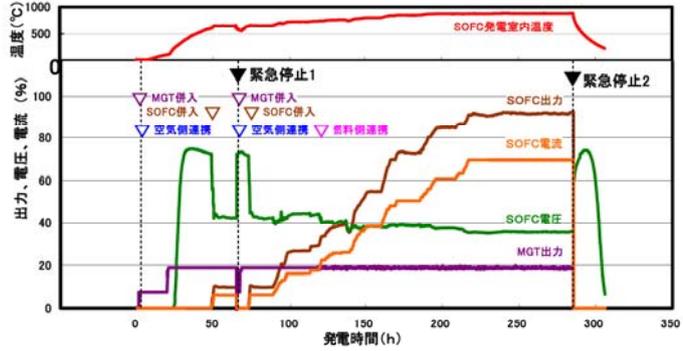
超高効率運転のための高圧運転技術(三菱重工業)前期

実施項目	成果内容	自己評価
1)セルスタック信頼性向上	セルスタック酸化還元耐性向上、カートリッジ試験にて効果確認	◎
2)モジュール高圧運転対応・信頼性向上	密充填形カートリッジの要素試験にて発電特性・伝熱特性を実験的に検証	○
3)複合発電システム信頼性向上	SOFC-MGT複合発電にて、起動・定常運転・緊急停止で安全に運転停止可能であることを確認	◎

◎ 大幅達成 ○ 達成 ▽ 一部達成、× 未達



従来スタックに比べ約2倍の耐久性を確認。

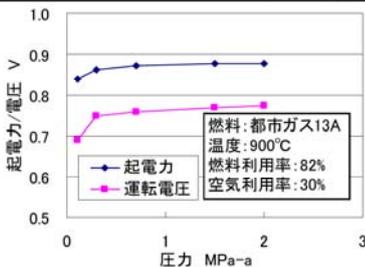


起動・定常運転・緊急停止を実施し、保護インターロックの正常動作を確認した。

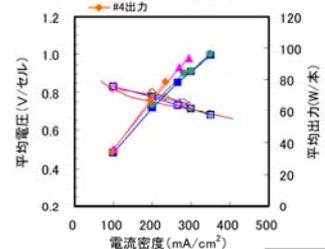
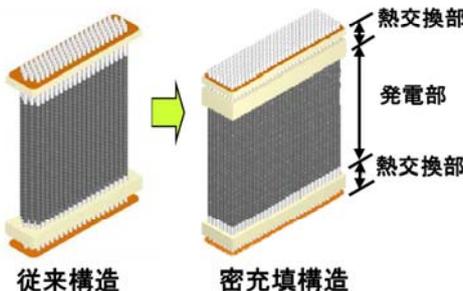
超高効率運転のための高圧運転技術(三菱重工業)後期

実施項目	成果内容	自己評価
1)セルスタック信頼性向上	・基礎的・要素的技術開発と連携し、耐久性0.25%/1000h以下を実現 ・0.7MPa-a迄の発電特性を実験的に取得し、2MPa-aでの性能を予測 ・前PJ 3000h運転セルスタックの解体分析により、加圧下における微構造変化と元素拡散が常圧と同等であることを確認	○
2)モジュール高圧運転対応・信頼性向上	・実証機用の密充填カートリッジにて同等の発電及び伝熱性能が得られることを確認 ・実証機で想定される緊急停止を実施してもカートリッジが健全であることを確認	○
3)複合発電システム信頼性向上	・簡素化したシステムで起動条件の迅速化について検討し、冷態24時間、ホットリスタート8時間を実現できる目処を得た。 ・セルスタック、カートリッジ、システムを製作し、実証運転を行う東京ガス構内に据え付けた。	○

◎ 大幅達成 ○ 達成 ▽ 一部達成、× 未達



高圧運転時の予測電圧

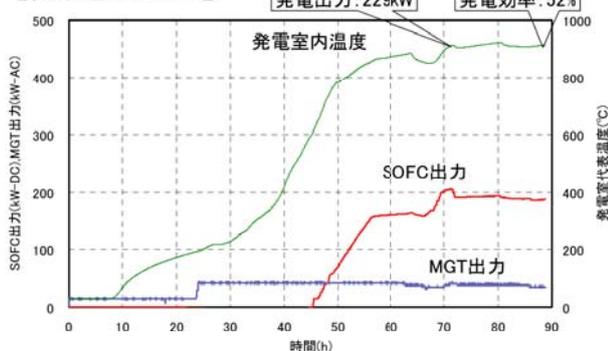


カートリッジ-V特性

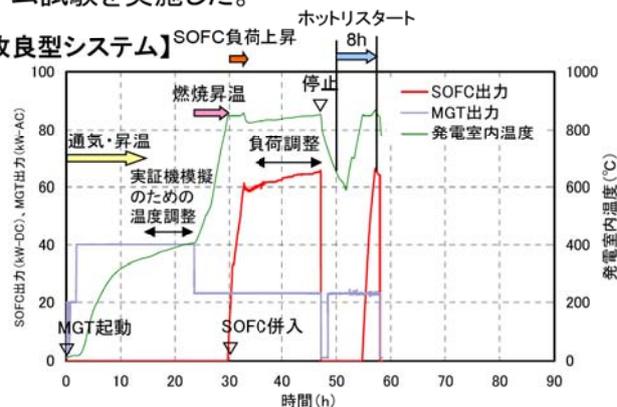
## 超高効率運転のための高圧運転技術(三菱重工業)後期

SOFC-MGT実証機のコンパクト化/系統簡素化を事前検証するため、継続研究で使用したSOFCモジュールとトヨタ自動車製のMGTを連携してシステム試験を実施した。

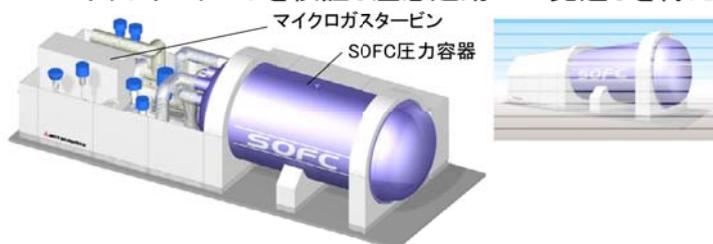
【従来型システム】



【改良型システム】



- ・昇温方法の改善、運転制御自動化により冷態起動24時間の見通しを得た。
- ・ホットリスタートを検証し温態起動8hの見通しを得た。



計画仕様:

- 発電容量 250kW級 (送電端)
- 発電効率 55%以上 (LHV送電端)
- 設置面積 約14m × 約5m = 約70m<sup>2</sup>  
(前PJ200kW級機の約1/2)

## 知的財産権、成果の普及

	H20	H21	H22	H23	H24	計
特許出願 (外国特許)	11 (0)	12 (0)	13 (0)	20 (0)	0 (0)	56 件 (0) 件
査読付き論文	22	32	37	51	17	159 件
研究発表・講演	76	187	231	213	45	752 件
受賞実績	0	2	0	4	0	6 件
新聞・雑誌等への 掲載※1	0	6	6	2	1	15 件
展示会への出展	0	3	1	0	0	4 件

※1: 事業化関連含む

平成24年度8月31日現在

成果の普及

No.	発表日	タイトル	発表者	発表形態
1	平成21年10月2日	SOFC-MGT複合発電で3,000時間運転を達成	三菱重工業(株)	三菱重工ニュース(広報発表) ウェブ版・長崎ニュース
2	平成21年10月2日	SOFC-MGT複合発電で3,000時間運転を達成;国内最長運転を達成	三菱重工業(株)	・日刊工業新聞、 ・電気新聞
3	平成21年11月11日	家庭用新型燃料電池の実証実験	大阪ガス	日本経済新聞
4	平成21年12月11日	次世代型、11月に実用化	大阪ガス	日本経済新聞
5	平成22年2月17日	TOTO 投資(茅ヶ崎工場へのセラミック部材量産化の設備投資関連記事)	TOTO	日本経済新聞
6	平成23年9月15日	いよいよ10月よりSOFC型エネファームを販売開始	JX日鉱日石エネルギー	各新聞社へのニュースリリース
7	平成24年3月31日	家庭用燃料電池(SOFC)の開発完了および「エネファームtype S」の販売開始	大阪ガス(株)、アイシン精機(株)、京セラ(株)、(株)長府製作所、トヨタ自動車(株)	各新聞社へのニュースリリース
8	平成24年6月4日	「トリプルコンバインドサイクル」要素技術開発加速	三菱重工業(株)	・日刊工業新聞他5社

受賞

No	受賞日	タイトル	対象者	授与機関
1	平成23年11月	Fuel Cell Seminar & Exposition 2011 Awards	横川 晴美	Fuel Cell Seminar

最終目標達成の見通し

研究テーマ	最終目標(平成24年度末)	達成見通し
耐久性・信頼性向上に関する基礎研究	耐久性4万時間(電圧低下率0.25%/1000時間の見通し。起動停止回数250回の見通しを得る。 劣化機構解明、加速試験法の確立。劣化と微構造の相関、耐久性評価手法の確立。	筒状平板形 達成 筒状横縞形 比較的大きい初期劣化も含め達成 小型円筒形 著しい改善を達成しているが更に劣化機構解明の必要有り 円筒横縞形 達成 共通課題 加速劣化法を検討し、適用性を認めるとともに、劣化機構解明から複雑な様相も確認、
超高効率運転のための高圧運転技術	耐久性4万時間(経時電圧低下率0.25%/1000時間以下)、超高効率運転のための高圧運転技術	250kW級SOFC-MGT実証機の運転試験にて達成する予定

I. 事業の位置付け・必要性	1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性 2. 事業の背景・目的・位置付け	NEDO
II. 研究開発マネジメント	1. 事業の目標 2. 研究開発の内容 2.1 研究開発の内容 2.2 研究開発の実施体制 2.3 研究開発の運営管理 2.4 研究開発の実用化、事業化に向けたマネジメント	NEDO
III. 研究開発成果	1. 各テーマの進捗と最終目標の達成度 2. 成果の普及 3. 最終目標の達成可能性	横川PL
IV. 実用化、事業化の見通しについて	1. 実用化、事業化の見通し 2. 波及効果	横川PL

IV. 実用化、事業化の見通しについて (1)実用化、事業化の見通し

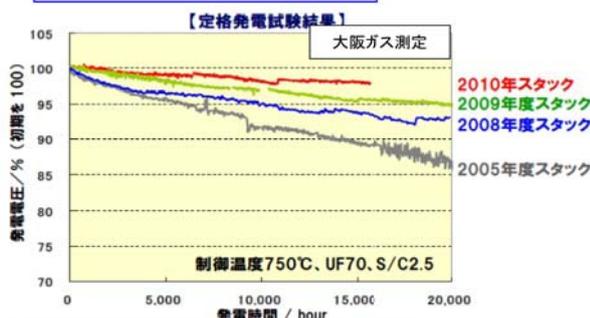
家庭用SOFCコジェネレーションシステムの導入

形式	前プロジェクト		耐久性試験結果	起動停止試験結果	検討劣化要因	今後の課題
	結果	抽出課題				
中温筒状 平板形	0.25%/1000h	空気極/電解質界面のSr拡散 セル接続金属の酸化被膜増大、Cr蒸発、不純物	0.16%/1000 h	0.003%/回	セル接続金属	コーティング法の検討； コーティング材の最適化

事業化

SOFC型エネファーム販売開始	2011年10月17日	JX日鉱日石エネルギー(株)
家庭用燃料電池「エネファームtypeS」販売開始	2012年 4月27日	大阪ガス(株)、アイシン精機(株)、(株)長府製作所、トヨタ自動車(株)

年度別スタック耐久の経時変化



スタックの主な改良点と劣化率(15000時間以上経過品)

年度	スタックの主な改良点	電圧劣化率
2005	1) 金属のコーティング	0.65%/1000h (20000時間経過時)
2008	1) セルの中間層組織改良 2) 金属のコーティング 材料変更	0.38%/1000h (20000時間経過時)
2009	1) 中間層厚み均一化 2) 金属のコーティング 法改良	0.25%/1000h (20000時間経過時)
2010	1) 金属のコーティング 法改良	0.16%/1000h (16000時間経過時)

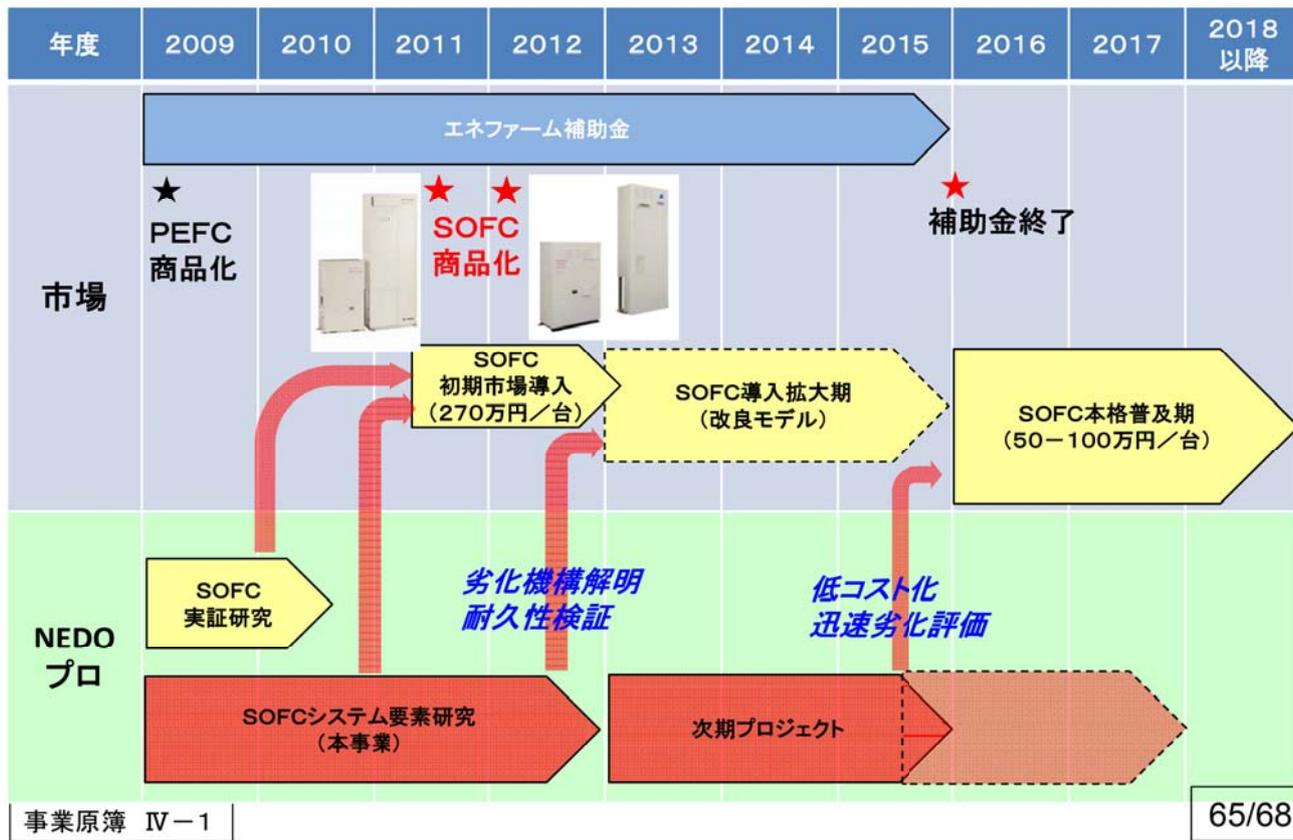
セル接続金属のコーティング手法の改良によりスタックの耐久性が向上。9万時間も見通せるレベルへ。

4万時間耐久から 9万時間耐久へ

スタック・システムの寿命を簡便に知る  
加速劣化試験法は存在しない。

個別過程の物理化学的理解から長時間耐久予測(セル挙動、スタック挙動、システム挙動)

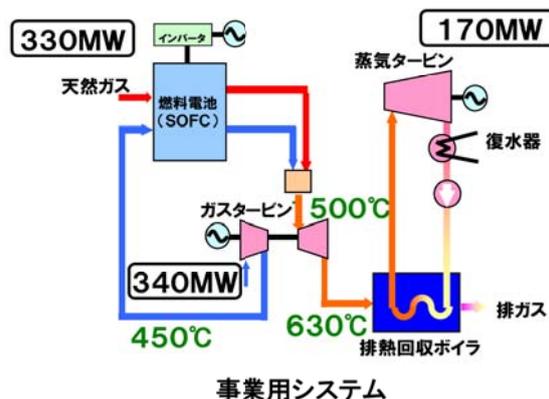
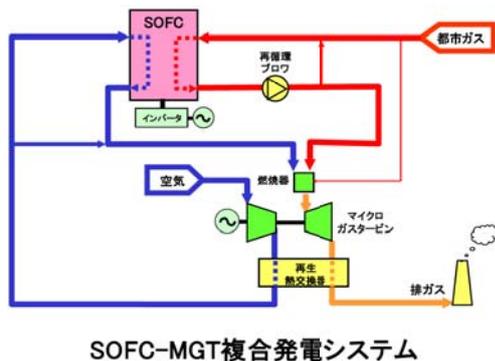
事業化シナリオ 家庭用システム(エネファーム)



中容量定置用SOFC・GTハイブリッドシステムの実用化

本事業におけるH23~24年度の実証機検証を経て、数百kW級SOFC-MGT複合発電を実用に供することを目指している。プロジェクト終了のH25年度以降、SOFC-MGT複合発電システムをユーザに提供する計画である。

更に、本研究で得られた成果をH24年度にNEDO殿より受託した「固体酸化物形燃料電池を用いた事業用発電システム要素技術開発」プロジェクトに反映し、事業用大型GTとのトリプルコンバインドサイクルの実現に向けた開発も併せて推進する。

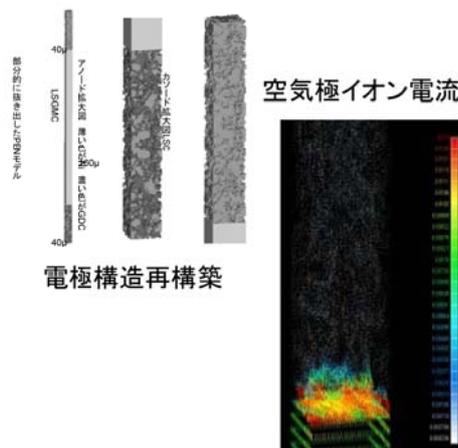


事業化シナリオ 産業用・事業用

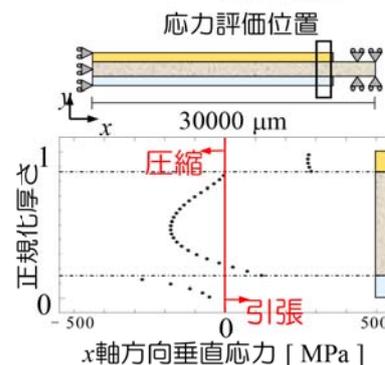
	平成23年度 (2011)	平成24年度 (2012)	平成25年度 (2013)	平成26年度 (2014)	平成27年度 (2015)	平成28年度 (2016)	平成29 (2017)	平成30 (2018)	平成31 (2019)	平成32 (2020)	平成33 (2021)	平成34 (2022)	平成35～ (2023～)
大容量 事業用 トリプル コンバインド		SOFCTリプルコンバインド 要素検証			小型GTCC-SOFC トリプルコンバインド実証		実用化		小型トリプル コンバインドシステム			大型トリプル コンバインドシステム	
中容量 分散型電源 MGT ハイブリッド		250kW級SOFC/MGT 実証機(NEDO研究)	フィールド実証		MW級SOFC/MGT 実証機		実用化		分散型 ハイブリッド				
セル カートリッジ 開発		低コスト量産用セル・カートリッジ開発											セル量産化 (アドバンスセル)

波及効果

- (1)低温形電気化学デバイス等への応用  
局所平衡近似に準拠したモデルの適用性は広い。  
複雑なシミュレーション技術(高温システム+電気  
化学的反応+機械的安定性の評価)
- (2)電極微構造の解析技術  
本事業で確立した電極微構造の三次元像の構  
築と利用あるいはSIMSによる局所的な濃集の観察  
は、先進的。
- (3)高温不純物解析技術  
1ppmレベルでの測定と解析技術
- (4)プロジェクトマネジメントの他分野への適用  
本事業では、本格的な産学の連携によって、先進  
的基盤技術を固めることで、このような技術の発展を  
促すことができた。他分野の研究開発にも応用できる。



電極構造再構築



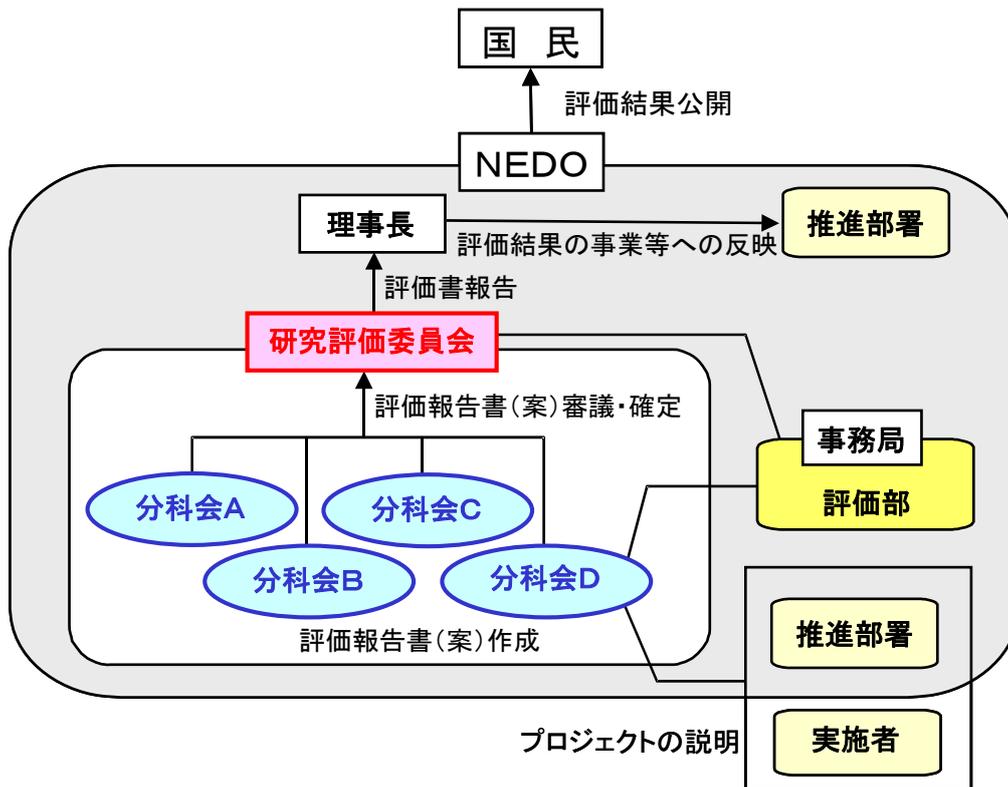
応力評価位置

## 参考資料 1 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて研究評価を実施する。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における研究評価の手順は、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



## 1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において。

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
- 社会に対する説明責任を履行するとともに、  
経済・社会ニーズを取り込む
- 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を  
促進する

としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

## 2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員選定に当たっては以下の事項に配慮して行う。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者
- ジャーナリスト

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、分科会委員名簿にある7名を選任した。

なお、本分科会の事務局については、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

## 3. 評価対象

平成20年度に開始された「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」プロジェクトを評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プ

プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

#### 4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び研究実施者からのヒアリングと、それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価及び実施者側等との議論等により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、研究実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

#### 5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、研究評価委員会による『各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格、中間・事後評価の別等に応じて、各分科会において判断すべきものである。』との考え方に従い、第1回分科会において、事務局が、研究評価委員会により示された「標準的評価項目・評価基準」（参考資料1-7頁参照）をもとに改定案を提示し、承認されたものである。

プロジェクト全体に係わる評価においては、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義や実用化への見通し等について評価した。各個別テーマに係る評価については、主にその目標に対する達成度等について評価した。

## 評価項目・評価基準

### 1. 事業の位置付け・必要性について

#### (1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 「エネルギーイノベーションプログラム」の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

#### (2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

### 2. 研究開発マネジメントについて

#### (1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

#### (2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

#### (3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。

- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

#### (4)研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

#### (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアする見込みか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

#### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登

録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。

#### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

### 4. 実用化、事業化の見通しについて

#### (1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2)事業化までのシナリオ

- ・ NEDO後継プロジェクト、NEDO実用化助成、企業内研究等、プロジェクト終了後の事業化までの道筋は明確か。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

#### (3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

## 標準的評価項目・評価基準（事後評価）

2010. 3. 26

### 【事後評価 標準的評価項目・評価基準の位置付け（基本的考え方）】

標準的評価項目・評価基準は、第25回研究評価委員会（平成22年3月26日付）において以下のとおり定められている。（本文中の記載例による1…、2…、3…、4…が標準的評価項目、それぞれの項目中の(1)…、(2)…が標準的評価基準、それぞれの基準中の…が視点）

ただし、これらの標準的評価項目・評価基準は、研究開発プロジェクトの事後評価における標準的な評価の視点であり、各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格等に応じて、各分科会において判断すべきものである。

#### 1. 事業の位置付け・必要性について

##### (1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 特定の施策（プログラム）、制度の下で実施する事業の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

##### (2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

#### 2. 研究開発マネジメントについて

##### (1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

## (2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

## (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

## (4) 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

## (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

## 3. 研究開発成果について

### (1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。（※）

（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）

- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

## (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓する事が期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

## (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

## (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

## 4. 実用化、事業化の見通しについて

### (1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

### (2)事業化までのシナリオ

- ・ N E D O 後継プロジェクト、N E D O 実用化助成、企業内研究等、プロジェクト終了後の事業化までの道筋は明確か。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

### (3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

※基礎的・基盤的研究及び知的基盤・標準整備等の研究開発の場合は、以下の項目・基準による。

\*基礎的・基盤的研究開発の場合

## 2. 研究開発マネジメントについて

### (1)研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

### (2)研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

### (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

### (4) 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

#### (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。（※）  
（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

#### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

#### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

#### 4. 実用化の見通しについて

##### (1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

##### (2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

\* 知的基盤・標準整備等の研究開発の場合

#### 2. 研究開発マネジメントについて

##### (1)研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

##### (2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

##### (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。

るか。

- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

#### (4) 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

#### (5) 情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1) 目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。（※）  
（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2) 成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることが期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は公開性が確保されているか。

### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 研究内容に新規性がある場合、知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

## 4. 実用化の見通しについて

### (1)成果の実用化可能性

- ・ 整備した知的基盤についての利用は実際にあるか、その見通しが得られているか。
- ・ 公共財として知的基盤を供給、維持するための体制は整備されているか、その見込みはあるか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ J I S化、標準整備に向けた見通しが得られているか。注）国内標準に限る
- ・ 一般向け広報は積極的になされているか。

### (2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

## 参考資料 2 評価に係る被評価者意見

研究評価委員会（分科会）は、評価結果を確定するにあたり、あらかじめ当該実施者に対して評価結果を示し、その内容が、事実関係から正確性を欠くなどの意見がある場合に、補足説明、反論などの意見を求めた。研究評価委員会（分科会）では、意見があったものに対し、必要に応じて評価結果を修正の上、最終的な評価結果を確定した。

評価結果に対する被評価者意見は全て反映された。

## 参考資料 3 分科会議事録

**研究評価委員会**  
**「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」(事後評価) 分科会**  
**議事録**

日 時：平成24年10月19日(金) 10:20~17:10

場 所：WTCコンファレンスセンター RoomB (世界貿易センタービル3階)

**出席者(敬称略、順不同)**

**<分科会委員>**

分科会長	松永 守央	九州工業大学	学長
分科会長代理	下津 正輝	前 徳島文理大学 理工学部 機械創造工学科	前 教授
委員	泉 政明	北九州市立大学 国際環境工学部 機械システム工学科	教授
委員	日比野 高士	名古屋大学 大学院環境学研究科 都市環境学専攻	教授
委員	平田 好洋	鹿児島大学 大学院理工学研究科 化学生命・化学工学専攻	教授
委員	森 利之	独立行政法人 物質・材料研究機構 環境エネルギー材料部門 電池材料ユニット 燃料電池材料グループ	グループリーダー
委員	吉武 優	燃料電池開発情報センター	常任理事

**<推進者>**

徳岡 麻比古	NEDO	新エネルギー部	統括主幹
山本 将道	NEDO	新エネルギー部	主任研究員
町井 謙二	NEDO	新エネルギー部	主査
堀内 賢治	NEDO	新エネルギー部	主査
齋藤 春香	NEDO	新エネルギー部	職員

**<実施者>**

横川 晴美	産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門	招聘研究員
堀 雄一	京セラ(株) SOFC開発部 セル開発課	課責任者
松崎 良雄	東京ガス(株) 商品開発部 SOFCPG	チームリーダー
上野 晃	TOTO(株) 燃料電池企画部	部長
山下 晃弘	三菱重工業(株) 技術統括本部 長崎研究所 化学研究室	主席
富田 和男	三菱重工業(株) 原動機事業本部 新エネルギー事業推進部 開発一課	主任
川田 達也	東北大学 大学院環境科学研究科	教授
佐々木 一成	九州大学 水素エネルギー国際研究センター	センター長・主幹教授
川畑 勉	九州大学 水素エネルギー国際研究センター	テクニカル・スタッフ
江口 浩一	京都大学 大学院工学研究科	教授
鹿園 直毅	東京大学 生産技術研究所 エネルギー工学連携センター	教授
山本 融	電力中央研究所 エネルギー技術研究所 エネルギー変換領域	上席研究員
堀田 照久	産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 燃料電池材料グループ	研究グループ長
倉本 浩司	産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 クリーンガスグループ	主任研究員

小林 由則	三菱重工業（株）原動機事業本部	新エネルギー事業推進部	次長
安藤 喜昌	三菱重工業（株）原動機事業本部	新エネルギー事業推進部 開発一課	課長
山下 敏	東京ガス（株）商品開発部	S O F C P G	グループ マネージャー
川端 康晴	東京ガス（株）ソリューション技術部	コージェネレーション技術グループ	係長

<企画調整>

中谷 充良      NEDO 総務企画部      課長代理

<事務局>

竹下 満      NEDO 評価部      部長  
 松下 智子      NEDO 評価部      職員  
 梶田 保之      NEDO 評価部      主査

<一般傍聴者> 1名

**議事次第**

（公開の部）

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法と評価報告書の構成について
4. プロジェクトの概要説明
  - 4.1 「事業の位置づけ・必要性」及び「研究開発マネジメント」
  - 4.2 「研究開発成果」及び「実用化、事業化の見通し」
 非公開資料取扱いの説明

（非公開の部）

5. プロジェクトの詳細説明
  - 5.1 基礎的・共通的課題のための研究開発
    - 5.1.1 筒状平板形セルスタック開発（京セラ）
    - 5.1.2 筒状横縞形セルスタック開発（東京ガス）
    - 5.1.3 小型円筒形セルスタック開発（TOTO）
    - 5.1.4 円筒横縞形セルスタック開発（三菱重工業）
    - 5.1.5 基盤コンソーシアム（横川PL）
  - 5.2 実用性向上のための技術開発
 超高効率運転のための高圧運転技術の開発（三菱重工業）
6. 全体を通しての質疑

（公開の部）

7. まとめ・講評

8. 今後の予定
9. 閉会

## 議事録

### 【公開の部】

#### 1. 開会、分科会の設置について、資料の確認

- ・開会宣言（事務局）
- ・事務局梶田主査より、分科会の設置について資料1-1及び1-2に基づき説明があった。
- ・松永分科会長挨拶
- ・出席者（委員、推進者、実施者、事務局）の紹介（事務局、推進者）
- ・配布資料の確認（事務局）

#### 2. 分科会の公開について

事務局より資料2-1に基づき説明し、今回の議題のうち議題5「プロジェクトの詳細説明」および議題6「全体を通しての質疑」を非公開とすることが了承された。

#### 3. 評価の実施方法と評価報告書の構成について

評価の手順を事務局より資料3-1～3-5、資料4に基づき説明し、了承された。

#### 4. プロジェクトの概要説明

推進者（NEDO 新エネルギー部 山本主任研究員）とプロジェクトリーダー（産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 横川招聘研究員）より資料6に基づき説明が行われた。

- (1) 事業の位置付け・必要性
- (2) 研究開発マネジメント
- (3) 研究開発成果
- (4) 実用化、事業化の見通し

説明に対し以下の質疑応答が行われた。

（松永分科会長） ありがとうございます。ただいま NEDO と横川先生から事業の位置付け・必要性、研究マネジメント、成果そして見通しについて説明をいただきました。いまから委員の方に意見と質問をお願いしますが、技術の詳細につきましては午後の議題 5 で議論をさせていただきたいと思っておりますので、ここでは主に事業の位置付け・必要性そしてマネジメントについて意見、質問をお願いいたします。

（下津分科会長代理） 素晴らしい成果が上がってきているというのは非常に嬉しいことだと思います。先ほど横川先生の説明で最後のほうにコストダウンと規格の話がありました。最近日本が弱くなってきているのは、日本は非常にいいものを作るけれども韓国・中国に比べコストが高いので、もう少しレベルを落としてもいいのではないかという話も出ています。特に SOFC は材料絡みの問題で、材料は絶対に劣化するもので、劣化が許されないということはあり得ないという気もします。コ

コストを下げるというのには製法以外に材料も相当大きいと思います。コストダウンをうまく行う方法をいま何か考えていますでしょうか。今はいちばんいいものを狙って作っているのでしょうか。

(産総研・横川 PL) 企業側の人々が答えたほうがいいのかもかもしれませんが、最初のプライオリティをどこに置いたかという点、耐久性と信頼性の確立をいちばん最初に置いてシステムを作ってきたと思います。ただし初期導入をした後は低コスト化になると思います。しかし低コスト化でもかなりの場所で、皆さまざまそれぞれがどこをどうすればコストがどれくらい下がるかということを考えていると思います。このプロジェクトで身にしみて理解したことは、性能がよくなると劣化もよくなります。いいものを作っていくこと、あるいは性能を上げていくということが、コンパクトにもなりますし、低コスト化にもつながるという意味で、技術的な検討をすれば達成出来ることなのです。そういう意味で、性能を上げていくこと、あるいは技術的な先行投資の重要性というのがあるのではないかと考えます。このプロジェクトの成果というのが、劣化機構を解明することによって総合的理解が進んでいますので、性能向上あるいは劣化現象の経過ということについても、総合的なアプローチをとることが出来ますし、企業側があるアイデアを持って他を見たときに、即それが良いか悪いかを判断出来る、コメントが出来ると、そういうようになっていくのではないかと感じています。

(NEDO・山本主研) NEDO としても、例えば家庭用コジェネレーションですと最終的には1台100万円以下、事業用や産業用のコジェネレーションは、規模にもよりますが、例えば1kW当たり約30万円で作ることが出来ればいいかなというコスト感を持っています。一足飛びにそこにはまだ行けませんが、段階的に民間企業のいろいろな努力も含めて達成していただければありがたいと思っています。このプロジェクトの中においては、先ほどの電解質材料とか電極材料ももっと安いコストで見出せばいいと思っております。もう少し低コストが狙えるような新しい材料で、これをちょっと試したいとか、それを実際にセルに組み上げてみて評価してもらいたいというニーズがあれば、これからの次のプロジェクトの中も含め、そういう低コスト化に向けた新しい評価なりについての対応をしっかりと考えていかなければいけないと思っております。そこは今後の課題としてNEDOとしても認識しています。

(松永分科会長) いまの説明と質問に関係しますが、先ほどアメリカとヨーロッパの現状を説明されましたが、彼らのコスト意識はどのレベルにあるのかという情報はお持ちでしょうか。

(産総研・横川 PL) いちばん有名なのは、アメリカのSECAというプロジェクトはかなりの低コスト意識を持っています。原料のコストをある程度想定して全体がその何倍ぐらいのコストになるかということで、全体的に計画をして金属を使ってセラミックスの量を少なくするというようにそのところまでの発想をしています。日本はどちらかというとセラミックスのSOFCセルを作るというほうに重きを置いていて、金属を導入すると劣化要因がかなり大きくなるので信頼性が下がってしまうという、まだそういうトレードオフ的な感じを持っておられる方が多いと思いますのでそのようになります。ヨーロッパも基本的には日本と同じようなことを考えていると思いますが、全体的に稼働温度が低下していくというのは、ある程度背景としては低コスト化を想定していると思います。日本のスタックの開発はどちらかというと高温の領域もまだ残っているので、そういう意味ではコストというのはこれからの課題になるかと思えます。セラミックス技術の中での低コスト化というのは、後で企業の方にお聞きになっていただければ分かると思いますが、かなり進展をしていると思っています。

(森委員) 資料の33/68ページで、事業化に向けた知財のマネジメントを2011年までに特許出願52件というように発表され、前半のほうではアメリカ、ヨーロッパの開発の例を引かれ、日本が必ずしも優位にいつまでもいられる状況でもないという説明をされました。業績のところを見ますと、すべてが国内出願という状況です。本当にそこに市場があつて、そこに大きくコミットして、国内の利益を損なわれないようにしなければならぬということであれば、EUとアメリカに対して絶対に1つは国際

出願があつてしかるべきです。それが業績の中に1つもありません。民間にすれば費用が莫大にかかりますので、民間にいたときには70ほど出願させていただいてしましたが、国内の出願でさえ審査請求に回すのはせいぜい20、国際出願はわずか5でした。重役に説明しましたので、相当に大変な思いをしなければいけないというのも分かった上で申し上げますが、それこそが民間のやる気であつて会社が認めた仕事です。ですから、原則は1年以内に出しなさいということかもしれませんが、いくつか纏めてでもいいので、やはりふしめふしめでEUやアメリカに対して国際出願をするというように指導していくといえますか、重役になぜ必要なのかということは何度も聞かれてそれを説明しなければいけませんから、おそらく何も言われなければそんな大変なことは多分しないと思います。しかしそれはマネジメントとしては、本当に必要なものであればあえて苦言を呈してでも権利化すべきであるということ、何らかの形でチェックを働かせないと、開発の初期の段階を国のお金を使って民間の経費を節減しているわけですから、その分をフィードバックしなさいというような指導は当然という気がいたします。

(NEDO・山本主研) ご指摘ごもっともであると受け止めています。私どもNEDOも先ほど特許出願に係るいろいろなコストの面、企業における戦略の面などもある程度お聞きしながら見てきてはおります。ご指摘の点も含め、NEDO側、国側も投資側としてそういったところをもう少し積極的に議論すべきという点については、そこも含めて今後さらに検討を進めていきたいと思ひます。

(森委員) ヨーロッパやアメリカは嘗々と築いてきましたから真似するという事は多分ないと思ひます。問題なのは中国など、出てきて買ってきて開けてみて作ればよいと思ひている人たちです。その人たちの目はヨーロッパに向いていますので、そこに権利がないとせつかくここで国がお金をかけて出しても、彼らを買ってみて、バラして、売りますということがないようになしたい。

(NEDO・山本主研) そこは今後民間企業の皆さまとも真剣に議論をさせていただきたいと思ひます。

(TOTO・上野部長) TOTOでございます。国際出願に関しましてはご指摘のとおりだと思ひております。TOTOは後期の2年間で参加させていただいておりまして、家庭用の燃料電池、特にSOFCはご指摘のとおり特にヨーロッパが日本の次に大きな市場だと認識しております。NEDOプロに入る2年前に自社研究でやっておりました分ではいくつか国際出願しているものも当然あります。この2年間のNEDOでの成果物として出願させていただいた中で国際出願に展開出来ているものはありませんが、指摘のとおりだと思ひていますので、海外に対しての出願活動も積極的にこれからやっていくようにいたします。

(泉委員) 三菱重工の250kWのコンバインドサイクの組み立てが来月終わるといふ話があつたと思ひますが、その後の試験はどれぐらいの実験期間を設けるのかについてお聞かせください。

(NEDO・山本主研) 計画ではいまごろには出来ていて、今年度が最後ですが、当然5,000時間ですとか、なるべく1万時間に近いところまではデータをとりたいたと思ひていましたが、ちょっと手間取つて遅れています。そのため、今年度内には2,000~3,000時間ぐらいしかデータをとることは出来ないのではないかと見通してあり、このプロジェクトの最終的な目標の観点からは不十分だと思ひています。ですから、このプロジェクトが終わつた後に継続してこの設備を使って、耐久性にある程度目処がつけられるような5,000時間とか1万時間とか、そこに向けてどのように継続的にデータを取るかについて、今後NEDOと三菱重工で費用負担も含めて相談させていただきます。そこはしっかりと目処がつくところまでやっていきたいと思ひております。

(泉委員) 是非、長期にお願いします。

(三菱重工・小林次長) 三菱重工の小林です。いまご指摘いただいた点と、それから山本様からお話をいただいたことに関して補足を加えます。もともと8月ごろから運転を開始しようといふ話があつた時期もありました。ただ、その加速するための原資、資金面で十分な体制が組めないまま進んでしまつ

たという我々プロジェクトマネジメント上の問題もあり、現在、運転開始が11月中旬ということで現地の据え付け、運転調整を行っています。その後、どの程度長期に運転が出来るかというのは、システムをいじめるような試験も含めて試験計画、工程を練っておりまして、その計画および進捗状況次第ではなるべく長い時間引っ張ろうということを考えております。先ほど山本様からお話があったように、今年度は十分な時間はとれそうもないということで、25年度に引き続き何らかの形で試験運転を継続させていただきたいということをお打ち合わせ、検討をさせていただいています。

(日比野委員) NEDOにお聞きしますが、家庭用に関しましてはこのSOFCの他にPEFCも動いていると思いますが、NEDOとしてはどちらを選ぶのか、もしくはその住み分けが出来ているのかということをお聞きしたいと思います。

(NEDO・山本主研) まず私どもはミレニアムが始まった2000年当初のころから、この家庭用燃料電池をどのように出していくかという議論を政府とともにしてまいりました。まずは低温作動で実用に近いと見ていた固体高分子型から実用化していこうということで先行的に取り組みまして、大規模実証もしまして世に出していったわけです。それと並行してSOFCは耐久性についてももう少し頑張らなければいけないということで検討をし、研究開発もやってきましてある程度見えてきたものですから、この5年間で次にこのSOFCの家庭用のコジェネレーションを出していこうということでその結末の研究と実証をさせていただいたわけです。技術的にPEFCが先行してきたということはあります。では両方出てきたので今後NEDOとしてはどうするのかということにつきましては、たしかにこの高効率でコンパクト化が期待出来て、選ぶ材料によってはさらに低コスト化が期待できるSOFCは次世代機としてNEDOは重視しています。ただ、当面はPEFCも100万円を切るようなところまでの低コスト化は継続いたしまして、2015年以降20年に向けてはまず主体はこの固体高分子形である程度は市場を引っ張っていくのかなと思っています。それとラップしながら、並行的により次世代機としてこのSOFCが成熟していけば、最終的にはその市場の一定の部分がどんどんSOFCに置き換わっていくのかと見ております。いずれにしても2020年ごろまでを見越しては、PEFCの低コスト化とこのSOFCの高耐久化も含めて信頼性を高めていくというところは並行して取り組ませていただいて、ポテンシャルにおいてはPEFCの次にはSOFCがどんどん性能面でも高いところまでいける可能性はあるなという意味で、いまは両にらみで研究と実証に取り組ませていただいているところでございます。いまの段階でどっちがどっちという判断はしておりません。

(日比野委員) よくわかりました。二重投資になるようなイメージもあります。PEFCの場合は自動車がありますから、自動車のほうで頑張っていただければいいかなと思います。ただ研究開発として自動車用と家庭用とではPEFCの設計が全然違いますから、国の政策としてPEFCを切るのであれば潔く切ったほうがいいと。

(NEDO・山本主研) このプロジェクトの横で、固体高分子形燃料電池プロジェクトの運営で実は悩んでいます。悩んでいるというか、2015年までにはいろいろ補助金を出して、量産化効果も見込んで、100万に近いところまで持っていくというシナリオでやっていますが、2015年以降どうするのだと、研究開発をどこまでやるという議論があります。大雑把に言うと、研究開発の面では、特に家庭用コジェネレーションの分野では研究開発は一段落つきつつあると思っています。自動車用としてはまだまだ改善が必要なので、自動車用の中で低コスト化と高耐久化、さらなる高温低加湿運転のようなところも突き詰めていき、自動車向けの研究にある程度重点化し、その成果から転用できるものは定置型のものにも転用してもらおうというような形で、このコジェネレーションに特化した研究開発というのは徐々に薄くしていくのかなというように考えております。

(森委員) やはり低コスト化についてですが、SOFCのほうのブレークダウンした低コスト化に向けての戦略をお聞かせいただければと思います。

(産総研・横川 PL) 前期に低コスト化の課題として2つやりました。金属インターコネクターと原料粉の共通化です。その時にはランタンマンガンナイト系を使ったものが複数社いて、あるいはコバルトフェライトが複数社いたりしたので、ゆくゆくはそういう低コスト化を図るためには原料の統一をせざるを得ないだろうというところまでいきました。前期の成果としては共通化を図りました。お互いに歩み寄って、例えばマンガンナイト系で多少組成が違っていたのを統一してもいいですねという話にもなりましたし、かなりそういう意味では成果は上がったと思います。ですから、本当にSOFCの低コスト化をやる時には原料の話、スタックでその材料を使う量の問題、何回シンタリングをするのか等の製造法、それから1kWを作るのをどれくらいのを焼かなければいけないのか等の性能の問題のように各段階でありますので、それについてなるべく複数のスタックメーカーの中で共通できるものは共通していこうというのが前期のNEDOの考え方で、それがある程度はうまくいったと考えています。

(平田委員) まず基盤のほうの研究で高温・長時間のデータをとられたということは、これは非常に素晴らしいことだろうと思います。そして、そこで起きている現象が事細かに理解出来たということは非常に成果の大きなところだろうと思います。その一方で、研究の中身については暫定版のものをいただいて見ましたところ、研究の攻め方というところですが、例えばアメリカ側のそういうような攻め方と高圧のセルにしる非常に似ているところが多いと思います。今回のこのNEDOの研究とどちらが早いのかは分かりませんが、もしアメリカが早いのであればそれをお手本にしてやっているのではないのか、要するにオリジナリティをもってきちっとやっているのかということが第1点です。それから今回のNEDOの戦略の立て方ですが、私に言わせると荒っぽいと思います。なぜかというと、今回分解して見ているのは京セラのタイプですが、これを見る限り京セラは2001年から独自で始めて、そして市販までやってきています。あるいは東京ガスのほうのJXでしょうか、それも国の予算をそれほど受けずにおそらく開発されてきたはずですが、そうすると、国民の税金をどのような開発に投入したほうが、(以下のカッコ「」の部分削除してください。文意が通りません。「例えば家庭に付けるなり、どこかに付けるなりしたときに」) 最も経済的に効果的なフィードバックが出来るのかということです。いまはいろいろなセルをラインに並べて「ヨーイドン」と一緒に全部走らせています。しかし既に走っているのもあれば、いまから走らせるのもあるわけですから、それに対する細かな戦略、あるいはタイプごとの戦略を立てないともまずいのではないのでしょうか。というのは、途中で止めたセルというのがあって、あれは基礎研究に戻せとおっしゃっていますが、それを基礎に戻す基盤のグループがちゃんといるにもかかわらず、なぜそちらのほうで受け皿をとらないのかと。ですから私に言わせると、ある程度走っていて、この前のプロジェクトでもある程度見きわめが出来そうなものにはこういう戦略を立てて、こちらのほうにはもう少し後押しするといったように、進めるべきだろうと思います。これは結果論になりますが、今回ばらしてみたら、タイプごとにウイークなところが全部違って、トラブルの原因になるところが全部違って、それは結果として基盤のほうできちっと解析されたからそれが言えるのですが、タイプも違いますし、作り方も違うわけですから同じ取扱いは出来ないわけです。ですから、次のステップにあるのかもしれませんが、それに応じた細かな戦略というのを立てなければいつまでも遅れたものは遅れたものになってしまいます。そのあたりの立て方がちょっと弱いと思います。それからセラミックスの破壊力学でもう明らかですが、ワイブル係数でバラツキを評価できることが分かっているわけです。ですから今回のSOFCでも性能のいいものはずっとよく、悪いものは当初からすぐにダウンしてしまいます。ですから機械的特性においてバラツキが出るようなことがワイブル係数のmで代表されますが、今後は1台ではなく百台、千台、1万台と作っていくわけですから、それにおけるバラツキをどう評価するのかということを確認する必要が当然出てくるだろうと思います。今回は東北大が頑張っておられて、力学的なところでのダメージはほとんどないと書かれていますので、電氣的な問題に相当するワイブルをどういうふうに取り込む

のか、それをしないとセラミックスで作る限りは均一なものはおそらくできないと思います。そのへんを感じました。今回はもう 5 年過ぎたわけなのでしょうがないかもしれませんが、そのように全部十把一絡げの戦略で全体を見てやられているので、どこがこのタイプであれば弱くなるのかということ、あるいはそれはどこを後押しするのかということ、そこに対する事業化の戦略を NEDO のほうで立てないとまずいのではないかというのが私の感触です。

もう 1 点は、午後のほうになるのかもしれませんが、今回パーフェクトに近いものに作ったというのはコンバインドの三菱重工の SOFC だろうと思います。あちらのほうはシャットダウンを何回やっても問題ないということでしたし、時間当たりの劣化電圧も全然下がって来ていません。逆にいうとそういうものはものすごく先を走っていますし、容量としても非常に大きなものが走っています。ですから、そういったトラブルが出ていないものと、まだトラブルが出ているものが明らかにあるわけですから、進めるための戦略の差別化をする必要があるだろうという気がします。

(NEDO・山本主研) ざっくり言いますと、この NEDO プロの基盤研究の、特に高耐久化のところではいろいろな企業に入らせていただいているのですが、基本的には各社のセルスタックの実用化に向けた研究を NEDO プロの中で一緒にやっているというのではなく、材料やセルの耐久性評価に重点を当てて実施してきています。型式が全然違いますから、それぞれの型式についてどういう課題をどこまで設定してというところは、先ほどの NEDO の説明では不十分でしたし、実際に私の頭にはそこまで細かい戦略があるわけでもありませんが、基礎基盤のところの材料やセルの耐久性評価のスタディの中で企業の課題に対して対応していくということがいちばんと考えていました。ですから、今後においては本当にそれだけでいいのか、それぞれの型式の弱みみたいなものを考えて、もう少しブレークダウンした形でこのプロジェクトの設計等をすべきではないかということについては、今後のプロジェクトの検討の中において参考にさせていただきたいと率直に思っております。過去の経緯を知っていらっしゃる横川さんから補足いただければと思います。

(産総研・横川 PL) SOFC の研究開発の困難なところというのは、いま平田先生がおっしゃったように、SOFC でもいろいろな考え方があって、いろいろな施策・デザインがあって、稼働温度も違いますし製造手順も違います。では、どれがいちばんいいかというのは誰も知らないわけです。同じレベルで揃ったことがありませんし、比較したこともありません。では比較すればいいかということ、比較して絞り込んでいけるかということもそういうものでもありません。過去の NEDO の SOFC のプロジェクトはどのようにやってきたかということ、必ず自社開発で先行しているプレーヤーがその時の NEDO のいちばん最先端のプロジェクトを担ってきています。ですからずっと通して見るとプレーヤーがどんどん変わってきています。例えば三菱重工さんと先ほど出ましたが、重工さんは最初は自社開発から始まりました。その時に NEDO でやっていたところは別のところがやっていました。しかし、NEDO としてはその都度、その都度の課題というのが何かということを見極めて、それを解決するにはどうしたらいいかということをやってきましたので、そういう意味では NEDO のマネジメントとしては一貫しています。NEDO がいちばん恐れるのは最後にプレーヤーがいなくなることです。幸い日本のスタック開発の意欲は非常に強いので、その都度、その都度やってきています。京セラさんも自社開発ですが、この信頼性評価の前のプロジェクトから NEDO のこのプロジェクトの中には参画をしていたということでした。

(平田委員) 後半のところですか、初めからですか。

(産総研・横川 PL) いえ、前プロジェクトからセルの劣化解明の対象にしています。ですからその成果として、京セラさんの改良したセルで実証機にも入れていますし、その実証機でやったものを我々がまたやっていますので、そういう意味ではある程度自社開発で出来るものと、NEDO が関与しなければいけないことの仕分けというのはかなり SOFC の場合は出来ています。全部国が面倒をみてきている

わけではありません。NEDOとして共通課題的にやること、例えば耐久性に重点を置くというようにやっていますので、マネジメントとしては、PEFCに比べてかなり少ない金額をSOFCで割り振っている割には効果的なプロジェクトの成果は上がってきていると思っています。そういう意味でNEDOのマネジメントとしては他の国と比べても問題はないと思います。いちばん先にオリジナリティがというのがありましたが、劣化について言えばオリジナリティというよりは誰かが解明した劣化機構があれば、それは使っても当然いいものですから、このプロジェクトでもアメリカのSECAのプロジェクトやヨーロッパのEuro SOFCの成果も全部取り入れてやっています。幅を広げて事例を多くすればするほど理解は深まってきますので、そういう意味ではオリジナリティというよりも、総合的な理解がどこまでできているかというほうがはるかにスタックメーカーにとっては重要なことになるとなっています。

(NEDO・山本主研) 先ほど京セラさんはもともとオリジナルで研究をしていて、NEDOプロとの関係がどうだったかというのがありましたが、京セラから今回のNEDOプロの中でどのようなスタディがあって、どのように貢献したかというのを、午後の部でもありますが一言コメントだけさせていただきます。

(京セラ・堀) 京セラの堀と申します。先ほどのコメントですが、我々が最初に入りましたときは耐久の劣化がありました。この耐久劣化に関しまして、何が主原因であるかというところをNEDOプロのほうでいろいろ確認していただきまして、やはり実抵抗のオーム抵抗の劣化が主要因であるということを見ていただきました。その原因については、先ほど横川先生からもありましたが、ストロンチウムジルコネートの生成を抑えるほうがよいと、そしてその部分の界面の制御が必要だろうという助言を頂き、その部分の改良を進めました。また、午後からも少しお話いたしますが、集電金属の抵抗増が原因であるということで、その部分の改良を進めました。ですから、改良方法については京セラ独自のものもありますが、その原因を特定していただいたおかげで耐久向上が早く解決出来たと思っています。

(松永分科会長) 説明にもありましたように、基本的に横川先生がPLで入られて、やはり同じ場で議論された成果が全体としては出ており、その意味でマネジメントとしての成果は出ていると思います。

(産総研・横川PL) 個別課題については、基盤側とスタック側でかなり綿密な打ち合わせをし、基盤側のフィードバックをかけていますし、いまおっしゃられたように、他のスタックの情報をワーキンググループという会合の中でやっていますので、2段階ぐらいのレベルでやっています。そういう意味では各スタック側から見れば自分のスタックの欠点なり改良すべきことが分かりますし、プロジェクトの中でいえば他のところの課題をPLなり産総研がかみ砕いて一般的課題として、あるいはその対策として一般化して述べていますので、それは普遍的に取り入れることが出来るようにしています。先ほどプラットフォーム機能と言いましたが、そういう意味では1つの場を作って、非常にうまく機能していると考えただけならいいかと思います。

(森委員) 全体的なことということでちょっと指摘をさせていただきたいと思います。他の皆さんがおっしゃっているように、劣化の機構の解明とその改善という非常に難しい仕事で確たる成果を上げられていて驚くばかりでございます。論文についても非常に多くの論文を出されておりますし学会発表も積極的にされていて、なかなか出来ないことだなと驚くばかりですが、それが素晴らしいだけに、ちょっとあえて苦言なのかもしれませんが、事業原簿という形でNEDOが出版されるわけですが、この最初に書いてあるリストが、例えば論文の数が216(152)、それが後ろにいきますと私が数えても160ちょっとぐらいです。どちらにも該当しません。しかもその1つ1つを見ていきますと書き方がまちまちであり、かつ提出先に互換の情報があつたりなかつたり、または多年度にわたって同じボリュームが載っていると、場合によっては著者が日本語と英語の両方で2回出てきたり、また英語のジャ

一ナルでありながら日本語で引いたり、英語でジャーナルをスペルアウトして出してきたりしています。一般的に言いますと、1つでも自らの業績にあいまいなサイトがあれば内容を信用しないというのが常識です。集まってきたデータを NEDO さんが留めてファイルして出しましたというのは分かりませんが、やはりどこかで統一させて、不備であればこうしてくださいというフィードバックをかけて、せっかく素晴らしい、価値あるデータが集まっているわけですから、それを社会に公開する事業原簿で、これが間違えますと決算書と帳簿が違うというようなお粗末な話ですから、それだけは出す前にしっかりとチェックしてください。いまの事業原簿はちょっとミスが多すぎます。公開された学会発表まではチェック出来ませんが、ここまで違えますとでは学会発表は正しいのかという話にもなりません。もうちょっと言いますと、せっかくこういう難しい仕事で受賞されているのが3件もありますが、その3件がいったいどこにリストされているのかというと、発表されていた横川先生が1件説明されただけで後の2件はアピールがありません。どういうところで仕事をされて、こういう仕事で賞まで取られたのかということこそ是非発表すべきですが、後ろにもありません。ですからそういうところを出す前にしっかりとチェックしてください。暫定版を頂いたときにずいぶんすごいなと思いましたが、ここに至ってもまだ変わりませんから、このままおいておくとも分このまま出ていってしまうと思いますが、やはりそれはよろしくないと思います。NEDO の責任をもって、これを正しいもの、しっかりしたものにして、そして価値ある成果が価値あるものであるということでアピール出来るようにされることが是非必要だと思いますので、最終的に私のところに来るときには是非直してください。そうでないとやはりおかしいと思います。

(NEDO・山本主研) 分かりました。もっともですので、きちんと最終的にチェックをして、最終版とさせていただけたいと思います。評価部のほうもよろしいでしょうか。これは最終的にチェックさせていただきたいと思います。

(事務局) 今日の資料はこれですが、最終的にはホームページに公開となりますのでそれまでにチェックというのが入ります。当然、この場で完全になっていなければいけないというのは前提であります。最終的にチェックしていただきますので、先生のご指摘やほかも含め、最後に全部見直した状態で公開とさせていただきます。予定でございます。

(NEDO・山本主研) 大変失礼いたしました。ありがとうございました。

(泉委員) 今回はセルスタックの耐久性、信頼性について非常に高い成果が得られているというのは納得出来ますが、システムとして売り出していくわけですが、今回のプロジェクトの全体を見ると何となくセルスタックに比重が置かれていて、システムに関してはかなり企業さんの負担に依存しているような形になっているように見えます。先ほどのコストの面についてもそうですが、セルスタックのコストの5万円/kW という目標もたしかにいいのですが、全体のシステムとしてのコスト、そしてシステムとしての性能の信頼性、耐久性を保持するためにはどうしたらいいのかというのをもう少し包括的に出来ないかなと思います。これは次のプロジェクトの仕事なのかもしれませんが、そのあたりに何かお考えがあったらお願いいたします。

(NEDO・山本主研) 今日の発表の中での三菱重工のご提案の中規模・大規模というところの世界においては、システム化が重要であり難しい点なので、そこは広く NEDO としても想定しているところです。家庭用等の小さい規模の燃料電池の研究課題を NEDO として吸い上げる時には、民間企業のご意向もある程度は聞いてはいますが、システム開発の面は、固体高分子形の先行的エネファームでの経験がある方もあり、そこはむしろ官民の役割分担の中では民が取り組むことにし、NEDO には材料セルの評価等の基盤的なところに重点的にサポートしてほしいというご要望があったものですから、いまの形になっています。しかしながら次のプロジェクトに向けて、たしかにシステムの低コスト化はどうするのかというのも課題としては残っておりますので、そこらへんについてのニーズのようなものも

これからいろいろと産業界の皆さまからていねいにお聞きし、次のプロジェクトを検討していきたいと考えています。

#### 【非公開の部】（非公開のため省略）

詳細説明に先立ち、非公開資料の取扱について評価部より説明があった。

### 5. プロジェクトの詳細説明

#### 5.1 基礎的・共通的課題のための研究開発

- 5.1.1 筒状平板形セルスタック開発（京セラ）
- 5.1.2 筒状横縞形セルスタック開発（東京ガス）
- 5.1.3 小型円筒形セルスタック開発（TOTO）
- 5.1.4 円筒横縞形セルスタック開発（三菱重工業）
- 5.1.5 基盤コンソーシアム（横川PL）

#### 5.2 実用性向上のための技術開発

超高効率運転のための高圧運転技術の開発（三菱重工業）

### 6. 全体を通しての質疑

#### 【公開の部】

### 7. まとめ・講評

各評価委員から以下の講評があった。

（吉武委員） SOFC は PEFC に比べますと非常に手がかかるといいますか、小回りのきかないテーマで、PEFC ですと皮の手袋で扱っている感じがですが SOFC ですとグローブでやっているような、いろいろな意味ですぐ出来ないし、解析にもちょっと手間がかかります。そういう中で今日はこのチームのプログラムは非常に素晴らしいところにいるということを改めて感じました。今後のビジネスを考えるという観点からしますとコストということだと思のですが、今後国内、世界にどのように考えていくかということが次のプロジェクトでは大事で、低コスト化においては先ほども申し上げましたが、やはり劣化対策を考える上での材料の作り込みといったところ、量産を含めて、今後どのように企業と大学等が連携してやるのか、そのあたりを十分吟味していただければと思っています。

（森委員） 今日は1日基礎から応用まで幅広い最先端の研究を聞かせていただきましてありがとうございました。大変勉強になりました。だいぶ視野が広まったわけではなく、広げなければいけないという気がいたしました。ただ、今後のこともあるということですのであえて余計なことも言わせていただくと、大変先端的な仕事の成果が一方で出て、ものづくりの方はやはり日々がんばらなければいけないというときに、成果をうまく翻訳して作る側の方が、これを作ればいいのかと分かってもらうには何か工夫がないと学会でいいことを聞いたというようなかたちで終わってしまい、ものづくりに反映されない場合もあるかと思いますので、そういった価値ある非常に素晴らしい成果をものづくりに生かすために現場では何をしたらいいのかということが、うまくサジェスション出来るような工夫も次になされるとかみ合いますので多分すごくいいのではないかと思います。あともう1つ、私も日ご

ろから悩んでおりますが、細かい解析を突き詰めていこうとすればするほどなかなか限界がありまして、電位をかけて電荷をかけながら界面を見るにはどうしたらいいのかというのは、固体であればあるほどまた難しい課題であります。やはり通電しながらいろいろな変化が起こるということも今日も発表されておりましたので、本当の意味でのその場、雰囲気と温度ではその場ではなくて、電池ですから電気化学がないといけないのですが、固体、全固体だったりしますと、場と温度と電場、全部かかったときの変化をどう見るのかということもかなり大きなハードルです。しかしそういうことも踏まえてチャレンジングの取り組みがどこか1個でもいいからあるといいのではないのでしょうか。全部は無理だと思いますが、そういうものが1つだけでもあるととても締まるなという気がいたします。あと、加速試験でのシミュレーションとは少し違うと思いますが、材料研究で得られたシミュレーションを、いろいろな物質の移動のシミュレーションとかにどのようなモデルでシミュレーションされるのかというお話を聞けなかったので、シミュレーションという言葉はあちこちに出てくるのですが、どのようなモデルにされるのですか、研究結果をそのモデルにどうやって反映されるのですかというところを伺いたかったなという気がいたしますが、学会の場でもないのであまり細かいことをお聞きするのはと思いましたので、こうした材料研究の成果がシミュレーションのどのモデルのどのようなところに反映されていくのかということも発信していただいて、それを踏まえて精度の高い寿命予測が出来るようになったみたいなことがあると、素人としてはとても分かりやすいので、是非考えていただければと思います。以上です。是非続けていただいたほうがよろしいと思います。

(平田委員) まず今回お聞きして燃料電池に対して大きな進展があったということは理解出来ました。当然大学等で出来ない何千時間、何万時間という非常に耐久性のある仕事がなされているのだと。またそれを解析したということでは、データそのものは非常に重要なデータが蓄積されたということは理解出来ました。今後に向けてのこともあるので、今後どうするかという話になると思いますが、やはりそれぞれのメーカーが社内で出来ることと、国が関与して進めるべきことの問題を分けないとまずいだろうと。あれもしたいこれもしたいではなく、例えば次のプロジェクトが5年くらい先まで見通せるということでしたので、例えば最後のNEDOの支援だとすると、やはり基盤側のほうの研究はどの会社にも使えるような普遍性のある重要な問題はどれかということ、問題の絞り込みをしなければならいだろうと思います。2つ目は、メーカーが既に、例えば京セラ等が国民にSOFCを提供しているわけですので、そういう意味では国にも責任というものが伴ってきますから、まず、今日はじめに言いましたが、セラミックスというのは作った段階でいいものと悪いものがかなり出てきます。そういう意味ではメーカー側は市販に出す前に、作った段階でこれは1万時間いけそうだなというような良品、不良品の見極めをするような方法を考えなければいけいだろうと思います。3つ目はいま既に高温で作動させていることで、拡散とか化学反応とかさまざまなことが起きることが分かってきたわけですから、既にメーカー側としてはそれをとらえて、現在市販するとしたらその防止策を入れ込む必要が当然あると思います。ですから今日ストロンチウムジルコネートの話も出てきましたが、防止策を既に自社で出す製品の中に、考えられる手を事前に打ち込まないとまずいだろうと考えました。4つ目は、今日の話は全部都市ガス対象の話だったと思います。日本は当然のことながら都市ガスというのはLNGでマレーシア等から液化して持ってきていますが、例えばいろいろな不測な事態が起きた場合にLNGが入らない、そうすると他の燃料で石炭ガス化といっても石炭はおそらく中国かオーストラリアから持って来るのでしょうが、そこの国交が断絶した場合など燃料をどうするかという話が今日はあまりなかったのですが、九大のほうでは佐々木先生が非常に精力的にされておりますが、いろいろな不純物が入ってきます。硫黄も入ってくる。そうすると空気極側がすぐにだめに

なる。今日は空気極の話もありましたが、そのような種々の燃料に対する展開というのは次のプロジェクトの中で徹底的に取り込まないと、おそらく燃料の多様性という SOFC のよさが出てこないだろうと、そんなことを感じました。以上です。

(日比野委員) 全体的にいえることは、中間評価のときにも言わせていただいたのですが、大学の技術が非常によく生かされていて、それが企業の、今回の特に劣化に対する対策によく反映されているという気がしました。そういう点では、特に劣化というところにフォーカスを当てたプロジェクトとしては大変完成度が高いと思っています。このプロジェクトは次に続くということでもありますので、最後に一言、次のプロジェクトへの希望、期待といたしましては、やはり発電効率がまだ 40%そこそこという点で、SOFC の特徴が生かされていないというところがありますので、今後は発電効率のさらなる向上も視野に入れてご検討いただければと思っています。

(泉委員) 中間評価を担当させていただいたのですが、そのときは最後、ここまで発展して纏められるとは思っていなかったのですが、非常に高い成果が得られていると判断出来ると思います。特に劣化機構の解明では多分世界で最先端の結果がいろいろ得られ、高く評価出来ると思いますが、やはり加速劣化試験の確立というのは大変難しいのだなということをいままた実感いたしております。ただ、加速劣化試験法の確立はどこが難しいのかということが明らかになった点は評価出来ると思っております。次期プロジェクトへの提言という意味で、1 つは最初にもお話しさせていただいたのですが、システム研究がちょっと足りないのかなと思います。ほとんど企業の努力に頼っているところですので、セルスタックの開発とシステム開発をうまく両立させていくという面からも、システム研究にもう少し力を入れるべきかと思えます。それからもう 1 つは先ほどからいろいろな先生方がおっしゃっているとおり、せっかくここでの成果を、ここにいる企業のメンバーの方々はいままで努力してきたのということもあるかもしれませんが、他の日本の企業、例えばここには加わっていらっしゃらない日本特殊陶業さんとか日本ガイシさんとかいろいろございしますが、そういった会社も今後は成果をある程度共有出来て参画出来るようなシステムのようなものがあつたらいいなと思います。

(下津分科会長代理) 各先生いろいろなことをおっしゃっていただいたので私はもう言うことはありませんが、前回は担当させていただいた立場から言いますと、今回プロジェクトグループの中で連携プレイは今回が一番うまくいっているのではないかという気がしました。学校の先生と企業の実際にやっておられる方とのあいだのコミュニケーションなり、データの共有なりがうまく進んできたという印象があります。今後もこの調子でどんどん進めていただいて、新しい知見を積み重ねていただきたいと思います。それと、実機のエネファームが最近出ました。ああいうものは 1 つの新しい実験基地であるという位置付けも出来るのではないかと思います。各エネファームを設置している場所でどういう運転をしているのかは知りませんが、その運転経過と出てくる現象は独特のものがあるかもしれません。そのあたりのデータは皆さん全体で共有されて、参考にすべきところは参考にさせていただいて、各企業さんの SOFC なり実システムなりの発展につなげていただければいいかなと思います。とにかく今日は割にすっきりしたかたちで耳に入ってくる内容が多かったと思います。

(松永分科会長) 私はいくつか NEDO のいろいろな評価でこういうかたちのグループの評価にかかわったことがありますが、実は中間評価の時点でちょっと心配なところがあったのですが、資料を見せていただいたり今日お聞きしたりして、1 つにまとまっているという観点でいうと、プロジェクトそのものは成功だと私も実感しております。特にいろいろな先生方がおっしゃいますが、いままで大学の研究と企業の研究はばらばらで結び付けるのは非常に難しかったものが、こういうかたちでやると非常に大きな成果につながるのだなと思い、実証された横川先生には非常に尊敬の念をいただいております。

違う視点で1つお話しさせていただくと、1つは日本のエネルギーとか資源戦略の中でいまの時点ではたしかに燃料電池というのは1つの大きな方法ですが、将来どう転ぶか分からないというのが日本のエネルギー戦略で、そういう意味では燃料電池の位置付け、特に SOFC の位置付けというのはやはり明確な方向性は議論していただいて、先ほどから言っておりますように、SOFC は燃料に多様性があることが昔はいちばんの売りだったと思うのですが、それプラス効率という、もちろんこれは非常に難しい問題だということは分かっておりますが、やはりターゲットを明確にしていくことも必要ではないかと思えます。それからもう1点は、我々大学は最近、特に財務省から国の財政の半分は借金だといつも言われていまして、やはり成果を社会に見せていくという意味でエネファームを京セラさんが出されたというのは非常に大きいと思っておりますし、日本からそういうかたちで出た製品はこれまでいっぱいあるわけです。ところが、森先生も何回も言っておられて、今日も問題になっておりますが、特許戦略でいつのまにか韓国や中国にもっていかれてしまっているというのが非常にたくさんある製品で起こっているわけで、SOFC は非常に難しい技術なのですが、韓国が圧倒的に追いついたような燃料電池もありますので、そういう意味ではどうやったら成果を日本の国の産業として継続出来るかということは、実は研究段階から考えていかなければいけない時代になっていると思っております。それはもちろん今日のお話の中で国際標準化の話も出ています。そういうところはこのプロジェクト単独ではないのですが、NEDO はその責任を負っておられると思っておりますので、この点にも注力していただきたいと思えます。そういうかたちで、次期プロジェクトの中でまた新たに1つ2つ、商品化に近づくものが出てくると、これはやはり事業として非常に大きな成果になっていきますのでこれからがんばっていただきたいと思えます。

本日は本当にどうもありがとうございます。推進部あるいは実施者の方から最後に何か一言ございましたらお願いしたいと思えます。

(産総研・横川 PL) 今日はいろいろ貴重なご意見をいただきましてどうもありがとうございます。実際私はいまお話のあった中間評価のときにかなり心配をされて、本当に最終目標に到達出来るのかというご指摘を受けて、それからかなり実施者の中の企業側、大学側の連携もさらに強固にするということが出来ましたので、それもこういう評価委員会の制度の1つのメリットかなと思っております。次期プロジェクトについてもいろいろ貴重なご意見を賜りました。特に実施者側から考えてみると、やはり前プロジェクトから本プロジェクトにかけての8年間、参画したものにとってもかなりの成果が上がってきて、ワンステージ上ったなという感じがします。そういう意味では特に実用化あるいは商品化という、非常にこういう研究のやりにくい状況で次期プロジェクトをやらなければいけないという特殊状況に置かれますが、基盤側を含め、いろいろ提案し、あるいはご批判を受けたようなことをクリアしながら次期プロジェクトをやっていきたいと思っておりますので、今後ともよろしく願いいたします。今日はどうもありがとうございました。

(NEDO・徳岡統括主幹) NEDO でございます。評価委員の皆さまには長時間のご審議大変ありがとうございました。それから実施者の横川プロジェクトリーダーをはじめ、これまで大変ご苦労されたと思えます。ありがとうございます。今日は大変有用なご指摘、コメント、叱咤激励をいただいたと思っております。午前中山本が申し上げましたとおり、次期プロジェクトにどんどん取り入れて反映させていきたいと思っておりますが、次期プロジェクトだけではなく、普遍的なご指摘もいただいていると認識しておりますので、他のプロジェクト、燃料電池のみならず私どもでやっている他のプロジェクトにも是非、有用なご指摘、アドバイス、叱咤激励を取り入れていこうと思っております。申すまでもなくいま我が国のエネルギーは大変重要な局面に立っておるわけでございますが、私ども

NEDO も微力ではございますが技術開発という観点から全力を尽くしてまいりますので、今日ここにいらっしゃる皆さまには今後とも引き続き、ご支援、ご協力を賜りたいと思いますので、よろしくお願い申し上げます。

8. 今後の予定、その他

9. 閉会

## 配布資料

- 資料 1-1 研究評価委員会分科会の設置について
- 資料 1-2 NEDO技術委員・技術委員会等規程
- 資料 2-1 研究評価委員会分科会の公開について（案）
- 資料 2-2 研究評価委員会関係の公開について
- 資料 2-3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘について
- 資料 2-4 研究評価委員会分科会における非公開資料の取り扱いについて
- 資料 3-1 NEDOにおける研究評価について
- 資料 3-2 技術評価実施規程
- 資料 3-3 評価項目・評価基準
- 資料 3-4 評点法の実施について（案）
- 資料 3-5 評価コメント及び評点票（案）
- 資料 4 評価報告書の構成について（案）
- 資料 5 事業原簿（公開）
- 資料 6 プロジェクトの概要説明資料（公開）
  - 4.1 事業の位置付け・必要性及び研究開発マネジメント
  - 4.2 研究開発成果及び実用化、事業化の見通し
- 資料 7-1-1 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - 5.1 基礎的・共通的課題のための研究開発
    - 5.1.1 筒状平板形セルスタック開発（京セラ）
- 資料 7-1-2 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - 5.1 基礎的・共通的課題のための研究開発
    - 5.1.2 筒状横縞形セルスタック開発（東京ガス）
- 資料 7-1-3 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - 5.1 基礎的・共通的課題のための研究開発
    - 5.1.3 小型円筒形セルスタック開発（TOTO）
- 資料 7-1-4 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - 5.1 基礎的・共通的課題のための研究開発
    - 5.1.4 円筒横縞形セルスタック開発（三菱重工業）
- 資料 7-1-5 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - 5.1 基礎的・共通的課題のための研究開発
    - 5.1.5 基盤コンソーシアム
- 資料 7-2 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - 5.2 実用性向上のための技術開発
    - 超高効率運転のための高圧運転技術の開発
- 資料 8 今後の予定

## 参考資料4

評価結果を受けた今後の取り組み方針について

評価結果を受けた今後の取り組み方針について

評価における主な今後の提言	今後の取り組み方針
<ul style="list-style-type: none"> <li>・本プロジェクトの成果はセルスタックの劣化解明機構解明とその成果を活用したメーカーでの劣化改善に活かされ、家庭用SOFCコジェネレーションの市販に結実したものと多く評価できる。今後、後継プロジェクトにおいても、本プロジェクトで確立された体制や成果を活用する仕組みを継続実施することを期待する。</li> <li>・国際競争力を確保するには、技術開発の成果を参画機関より国際特許出願の形で主要先進国に発信するなど知的財産戦略の改善余地あり。</li> <li>・SOFCの市場導入のためセルスタックの劣化を最重要課題として取り組んでいることは理解できるが、今後、システムで販売していく以上、システム全体でのコスト、性能、劣化や信頼性を評価する必要がある。</li> <li>・今後、国際競争力を確立するには、コストダウンが不可欠であり、本プロジェクトで目処が立った性能を維持しつつ、新規なアイデアによるコストダウンを目指す必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・後継事業等において、将来の海外展開を見据え、大市場が見込まれる北米、欧州等の先進国での出願を促進するとともに、必要に応じて振興国への出願を検討する。 継続事業を知財方針適用対象PJとして対応。</li> <li>・システム開発については、官民の役割分担を産業界と検討した結果、システムメーカーの責任として実施することで合意した。後継事業において、セルスタックの開発については、耐久性評価試験等を引き続きNEDO事業で扱うこととし、セルスタックメーカーだけでなく、システムメーカー・ユーザー企業の意見を取り入れる体制を構築する。 継続事業の基本計画へ反映。</li> <li>・後継事業において、セルスタックメーカーが最重要視する低コスト材料・構造による、セルスタックの9万時間耐久性確保に係る試験研究に、産学連携体制により取り組む。 継続事業の基本計画へ反映。</li> </ul>

本研究評価委員会報告は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

平成25年1月

NEDO 評価部

部長 竹下 満

主幹 三上 強

担当 梶田 保之

\*研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

([http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu\\_index.html](http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html))

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージアム川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162