

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」
(中間評価:2008-2010年度 3年間)

プロジェクトの概要 (公開)

2010年 8月31日

NEDO 新エネルギー部

1

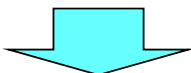
発表内容

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細井
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細井
III. 研究開発成果	1. 各テーマの進捗と中間目標の達成度 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

「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を本格普及を目指す。
エネルギー基本計画	2010年6月	低コスト化を進めて、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。



「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

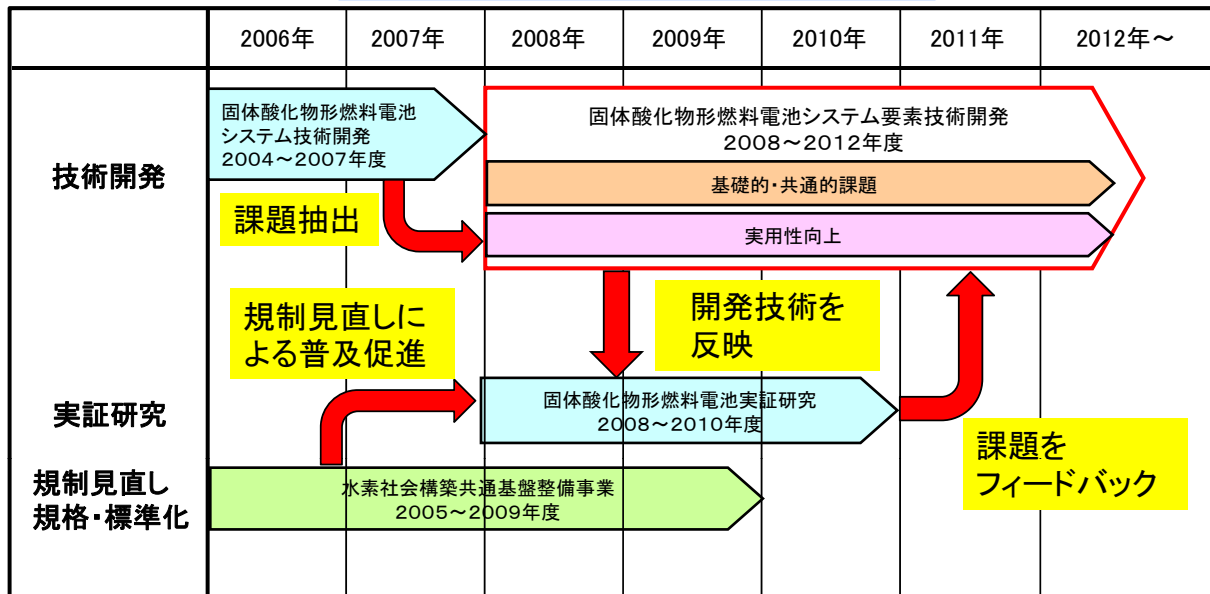
- ①総合エネルギー効率の向上
- ②運輸部門の燃料多様化
- ③新エネルギー等の開発・導入促進
- ④原子力等利用の促進とその大前提となる安全の確保
- ⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用



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



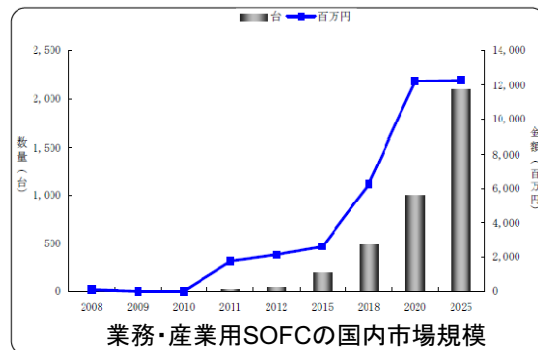
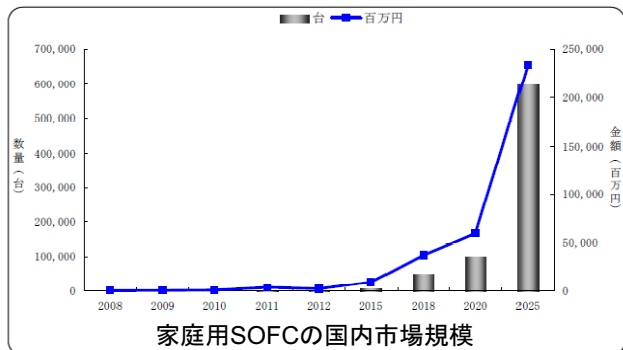
燃料電池の普及には、技術開発、実証、制度の整備・標準化を一体的に進める必要があり、これら複数の研究事業を連携・整合させて進める必要有り。

⇒ NEDOマネージメントが不可欠

実施の効果

【経済効果】

2025年のSOFC市場規模(家庭用+業務・産業用)は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】

- ・2025年における家庭用SOFC(導入台数60万台)で78万トン。
- ・事業用SOFC/GTハイブリッド、IGFCで約30%の削減効果あり。

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～



※運転時間:5,000~1万時間

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	 円筒横縞
	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	0.54~0.81	不純物による有効反応面積減少、燃焼域再酸化	

- ・目標とした0.25%/1,000hの達成できなかった。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。
- ・H19年「SOFC技術の現状と課題」の発行に際して、SOFCの耐久性向上には異なる分野の知見を劣化問題に注入した集学的取組が必要であることが各有識者委員より指摘された。

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～

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		
コンバインドサイクルシステム	200kW級	52%, LHV		200kW級システム 

- ・各システム共に目標性能や3,000hの連続運転は達成した。しかし、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、事業用の大型システム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必要であることが確認された。

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」(H19年開始)～

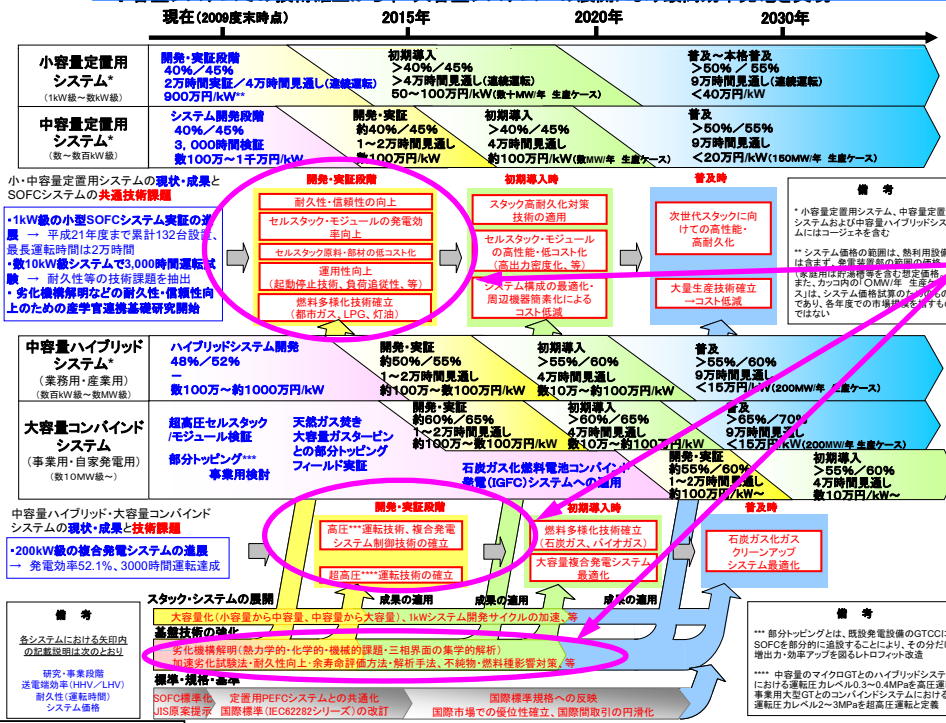
SOFC実証研究の導入・運転実績



設置運転事業者	システム提供者	設置台数				燃料	定格出力
		H19	H20	H21	H22(予定)		
大阪ガス	京セラ	20	25	12	0	都市ガス	0.7kW
	トヨタ・アイシン	0	0	23	41		
	TOTO	0	0	0	2		
東京ガス	京セラ	3	2	12	0	都市ガス	0.7kW
	ガスター・リンナイ	0	0	2	0		
	トヨタ・アイシン	0	0	4	11		
北海道ガス	TOTO	0	0	0	1	都市ガス	0.7kW
	京セラ	1	1	0	0		
	トヨタ・アイシン	0	0	1	2		
西部ガス	京セラ	1	1	0	0	都市ガス	0.7kW
	トヨタ・アイシン	0	0	1	2		
	東電電力	0	1	1	0		
東北電力	京セラ	0	0	1	0	都市ガス	0.7kW
	新日本石油	1	2	14	27		
	新日本石油	1	1	1	1		
東邦ガス	LPG	0	0	1	0	都市ガス	0.7kW
	灯油	1	1	1	1		
	トヨタ・アイシン	0	0	1	2		
TOTO	日本特殊陶業	0	0	0	2	都市ガス	0.7kW 2kW 8kW
	TOTO	0	2	6	10		
	TOTO	2	0	0	0		
合計		29	36	67	101		

本事業の立案段階にあったH19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、市場導入に求められる耐久性の確立に向けた劣化対策の検討が必要であると判断された。

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)～



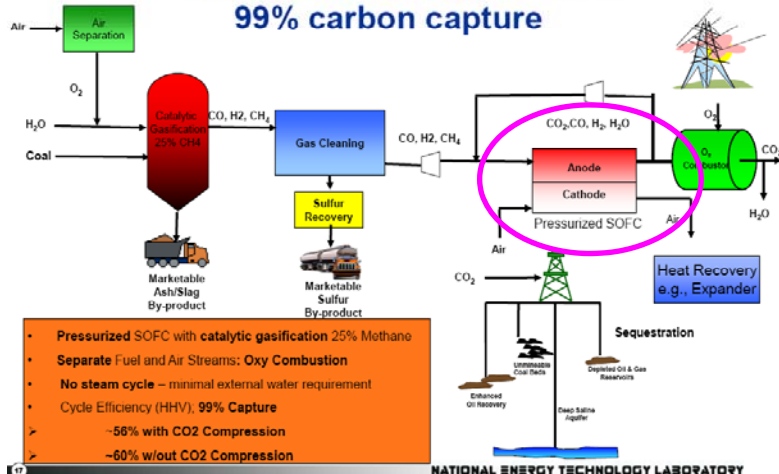
SOFC普及に向けた最優先課題であるとのステークホルダー間の共通認識。

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

米国では2001年よりDOE、企業、国研・大学等が参加するSECAプロジェクトにおいて、SOFCの性能、耐久性、コストダウンを目的とした技術開発が進められてきた。現在は、石炭ガス化ガス複合発電に対応するための研究を中心に進められている。

SECA Coal Based Systems near-zero water requirement 99% carbon capture



欧州のSOFC開発動向

欧州では、EUの財政的支援を受け、SOFC関係の様々なプロジェクトが推進されている。

SOFCプロジェクト	プロジェクト目標	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10
■材料・構成部材の開発									
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								
■適用範囲の拡大									
FLAME-SOFC	多種燃料対応CHP								
LARGE-SOFC	大型化システム								
■バイオマス燃料の適用									
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								
■輸送分野への適用									
METHAPU	船舶用メタノールAPU								
■コスト低減									
DEMO-SOFC	低コスト化SOFC製造法								

標準・規格・基準に係る状況

【国内規格整備】

JEMA「定置用燃料電池標準化委員会／SOFC標準化分科会」

- ・10kW未満SOFCのJIS規格制定および関連規格(7件)の見直しを実施。
- ・2010年度末までに規格審議が終了の予定。

【国際標準化】

JEMA「燃料電池国際標準化委員会／試験法調査WG」

- ・PEFCを参考に、SOFCの安全試験法および性能試験法について検討。
- ・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。
- ・今後は、PEFCシステムと共通化し、国際優位性の獲得を図る。

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細井
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細井
III. 研究開発成果	1. 各テーマの進捗と中間目標の達成度 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。

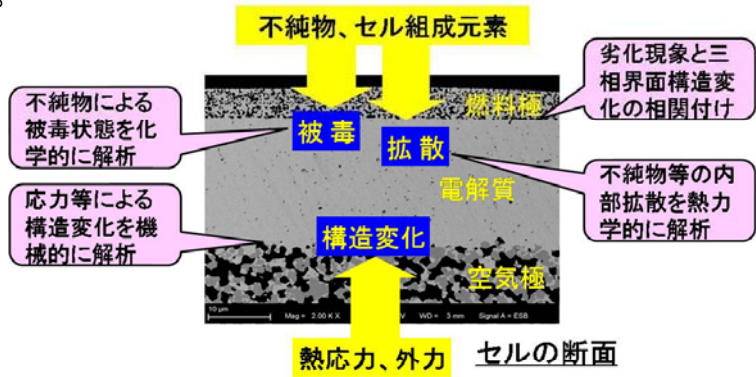
各研究項目・テーマの最終目標(2012年度末)

研究開発項目	研究テーマ	最終目標(2012年度)
①基礎的・共通的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
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%/1,000時間)および起動停止250回の耐久性
	(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%/1,000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」


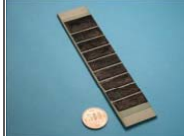

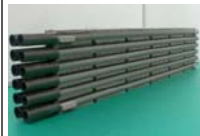

複数のセルスタックメーカーと大学・研究機関が連携し、各セルスタックの構造・製造法と劣化現象との相関を導出しながら、耐久性・信頼性の向上を図る基礎研究を実施。

- 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)
 - ・劣化機構の解明
 - ・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



耐久性・信頼性向上のための集学的取組み

「耐久性・信頼性向上のための基礎研究」 検討対象セルスタック

項目	京セラ	東京ガス	三菱重工業	TOTO	三菱マテリアル
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	中間層/ 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℃	700~800℃	900~1000℃	900~1000℃	700~800℃

YSZ : イットリア安定化ジルコニア ScSZ : スカンジウム安定化ジルコニア
 LSF : (La,Sr)FeO₃ LSCF : (La,Sr)(Co,Fe)O₃ LSGMC : (La,Sr)(Ga,Mg,Co)O₃
 DC : doped CeO₂ SC : (Sr, Sm)CoO₃ SDC : Sm doped CeO₂

**研究項目① 「基礎的・共通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」**

複数のセルスタックメーカ(TOTO、三菱材料、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、共立材料)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)
- 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。

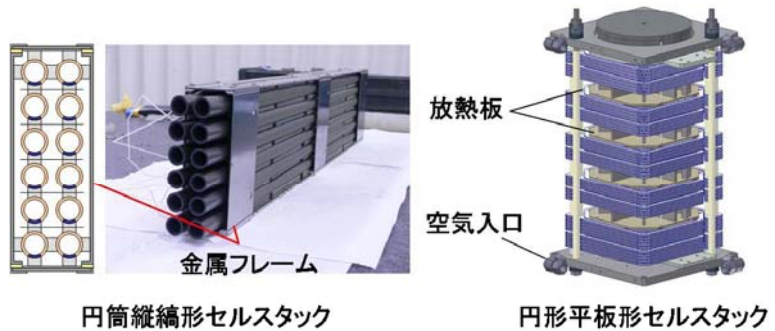
低コスト化対象の原材料・部材

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 ₃
		(La, Sr, Ca)MnO ₃
		(La, Sr)(Co, Fe)MnO ₃
		(Sm, Sr)CoO ₃

**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。

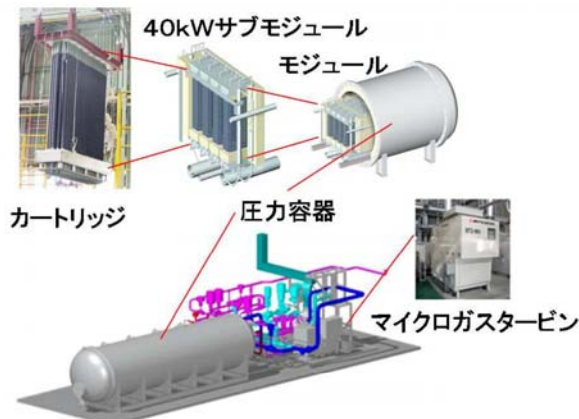
- 最終目標(2012年度末)
4万時間および起動停止250回の耐久性の見通し。
- 中間目標(2010年度末)
起動停止による熱サイクルの影響を評価し、熱衝撃緩和セルスタック・モジュール構造の確立。



**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。



研究開発スケジュール

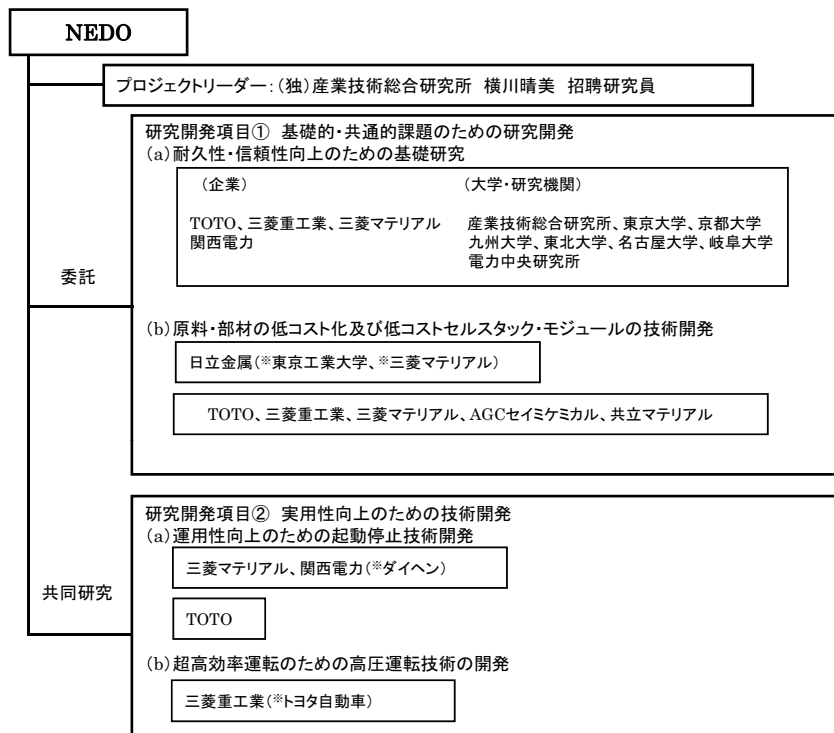
研究開発項目・テーマ	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度
①基礎的・共通の課題					
(a) 耐久性・信頼性向上	<ul style="list-style-type: none"> ◆長期運転と起動停止のセル内部機構への影響 ◆加速劣化試験法の検討 ◆発電に伴う微細構造変化のデータ解析 ◆性能表示式の策定、加速劣化試験法の検討 			<ul style="list-style-type: none"> ◆加速劣化試験法の適用検討 ◆寿命予測式の検討 	
(b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発	<ul style="list-style-type: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

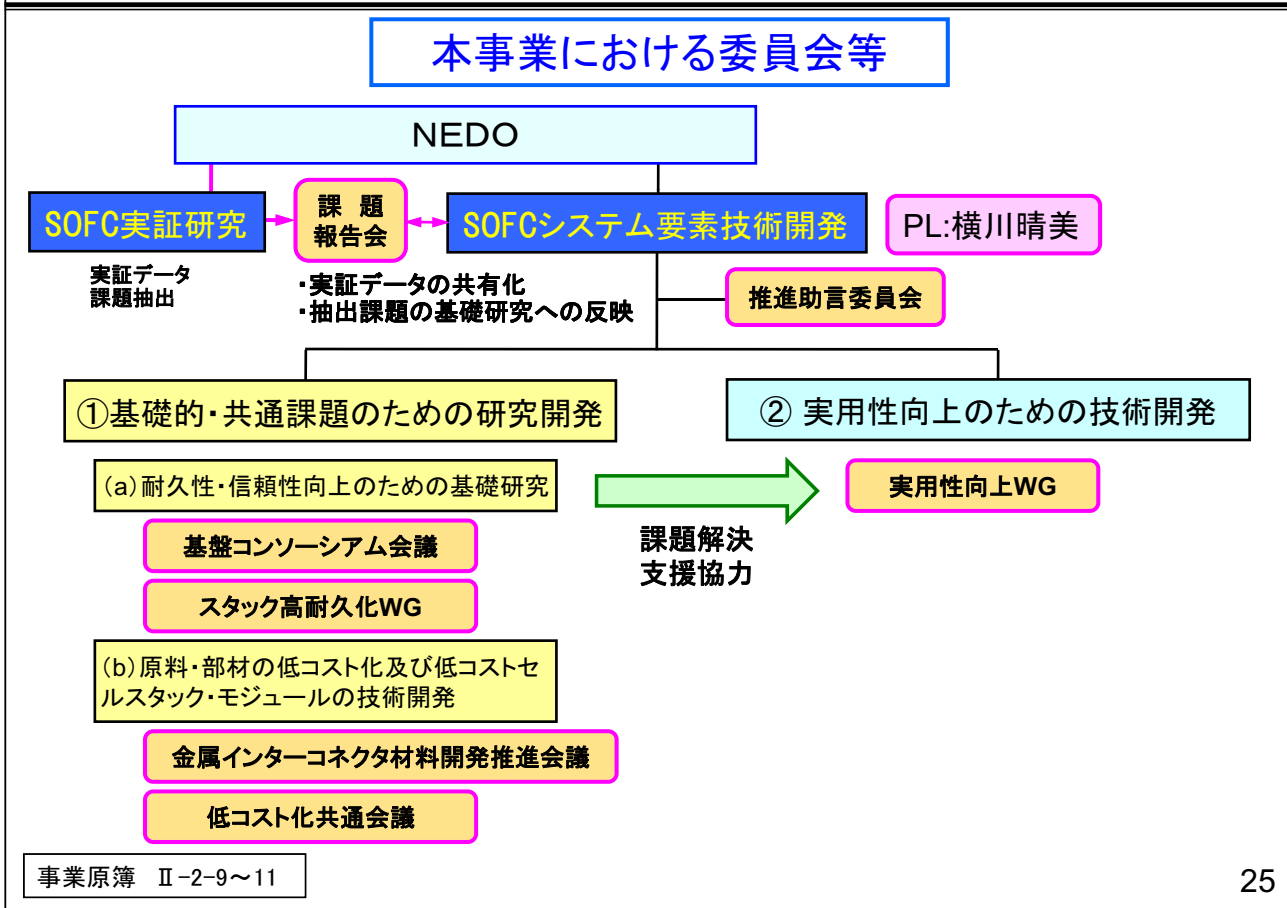
研究開発予算(NEDO負担額)の推移

(百万円)

研究開発項目	委託先/共同研究先	2008年度	2009年度	2010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	417	2,392
(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	181	171	122	473
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	59	69	27	155
(b)超高効率運転のための高圧運転技術	三菱重工業	114	125	194	433
合計		1,368	1,325	760	3,453

研究開発の実施体制





本事業における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	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
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

事業原簿 II-2-9~11 26

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、「水素社会構築共通基盤整備事業」において規制見直し・国際標準化の検討を行っており、SOFCの市場導入・普及に向けて技術開発・実証・制度の整備を一体的に推進中。
- (2)「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。
- (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】

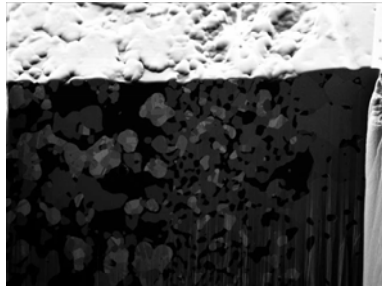
- (1)セルスタックの耐久性の向上に係る知的財産は、各参加企業の事業化において根幹となることから、重点的に確保する。ただし、参加企業個別の戦略を尊重。
- (2)大学・研究機関の基礎的・共通的研究で得られる知的財産は、今後、プロジェクト内で権利化の是非を議論し、権利化すべきものとそうでないものに仕分けする。
- (3)国際標準化に資するデータについては、JEMAの委員会・WG等に積極的に提供。

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細井
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細井
III. 研究開発成果	1. 各テーマの進捗と中間目標の達成度 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

・実施者が留意した事項

- ・強力な産官学連携の推進が達成できた。
- ・基礎的検討手段の高度化

FIB-SEMによる電極構造再構築



- ・個別課題間での連携

集学的取り組み

家庭用	小型定置用	中容量定置用	中容量ハイブリッド	
実証研究との連携		-		SOFCシステムレベル
(最終目標)4万時間の耐久性見通し、250回の起動停止の信頼性見通し				SOFCスタックレベル
起動停止 超高効率				
低コストインターコネクタ		低コスト材料		基礎的共通レベル
耐久性・信頼性向上のための基礎研究		集学的取り組み		

個別研究開発項目の目標と達成状況(その1)

	中間(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。))	・製造手順と劣化部位との相関を明らかにした。 ・劣化部位を集学的解析し改善指針を得た。 ・不純物による劣化の一般化モデルを構築し加速試験の基盤とした。 ・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	◎	・各スタック課題解決 ・集学的解析から改善策の提示 ・基盤側提案加速試験法の検討 ・スタックを用いた加速試験法の適用 ・直接的・間接的劣化機構の性能評価式への反映
(b) 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				
(i) 低コスト金属インターコネクタ材料開発	共通仕様、コスト見積もり、課題抽出、開発方針策定	耐久性大幅改良。合金の目標達成に向けた方針確定。	◎	・合金改良+表面処理によるCr蒸発抑制 ・低コスト化プロセス
(ii) セルスタック材料の低コスト化技術開発	(セルスタック5万円/kW程度の見通しを得る。)	目標が実現できる材料の開発方針が決定した。	○	微量成分の影響を評価し、閾値を設定する。

◎ 大幅達成 ○ 達成 △ 一部達成、× 未達

個別研究開発項目の目標と達成状況(その2)

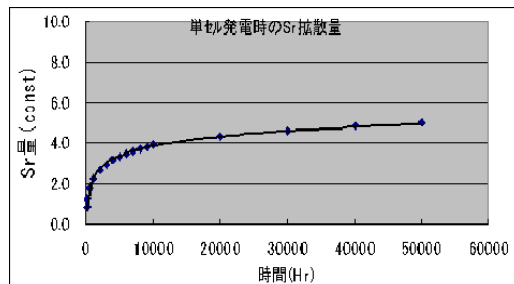
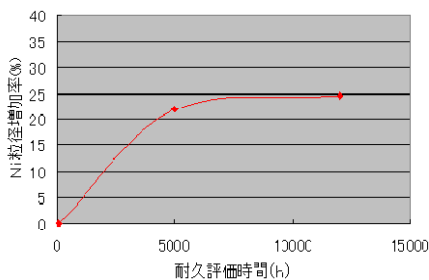
	中間(最終)目標	成果	達成度	今後の課題
研究開発項目② 実用性向上のための技術開発				
(a) 運用性向上のための起動停止技術開発				
(i) 円筒縦縞形 (TOTO)	起動停止による熱サイクルの影響評価、熱衝撃緩和構造の確立。	起動停止50回実施し、課題抽出できる見込み	△	・電解質粉末化 ・耐久運転中の起動停止250回の実証
(ii) 円形平板形 (三菱マテリアル-関西電力)	(耐久性4万時間の見通しを得る。起動停止回数250回の見通しを得る。)	起動停止250回における達成見通し	○	・セル破損、接触抵抗増大の対策 ・システムでの検証
(b) 超高効率運転のための高圧運転技術	起動停止、緊急時の安全停止など高圧下運転のためのシステム技術確立。 (耐久性4万時間、超高効率運転のための高圧運転技術)	中間目標「起動停止・緊急時の安全停止を可能とする」ことを平成21年度までに実験的に確認した。	◎	SOFC-MGT実証機での信頼性検証 セルスタック・モジュールの高圧での実圧検証。 基礎研究を反映したセルスタック耐久性検証

事業原簿 III1-56, 63, 72

◎ 大幅達成 ○ 達成 △ 一部達成、× 未達

家庭用コジェネレーションシステム(筒状平板形)の進展

	劣化率 2000h以降	劣化要因	対策・改善	劣化率 2000h以降	目標達成までの展望
単セル	0.55% /1,000h	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% /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。
スタック	1.5% /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 構成部材、断熱材などからの不純物飛散	金属のコーティング改善中 集電金属以外の金属部コーティング 不純物飛散部の特定をし、部材等の改善中	0.7% /1,000h	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。上記改良により4万時間耐久(10%)達成の見込み



燃料極ニッケル凝集の時間変化

中間層中のSr拡散量の時間変化予測

低コスト(金属材料):改良合金のテスト=>クロム蒸発量の評価の必要性

事業原簿 III-1-31

中容量定置用、中容量ハイブリッドシステム

運用性の向上、高効率化の成果

- 1) 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に進展をみた。

共通的特徴: 熱応力による変形のスタック内での蓄積 = 基盤グループとの連携

- 2) 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ことができた。

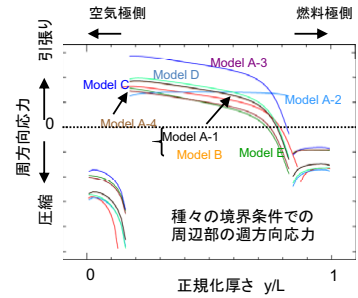
耐久性との連携

低コスト原料

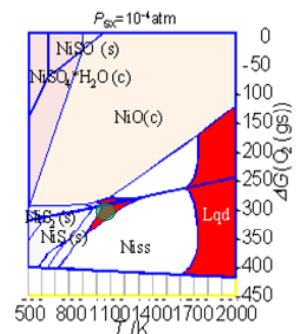
- 1) スタックメーカーでの共通仕様化が進展。
- 2) 不純物の地理扱いが焦点の一つ

耐久性との連携

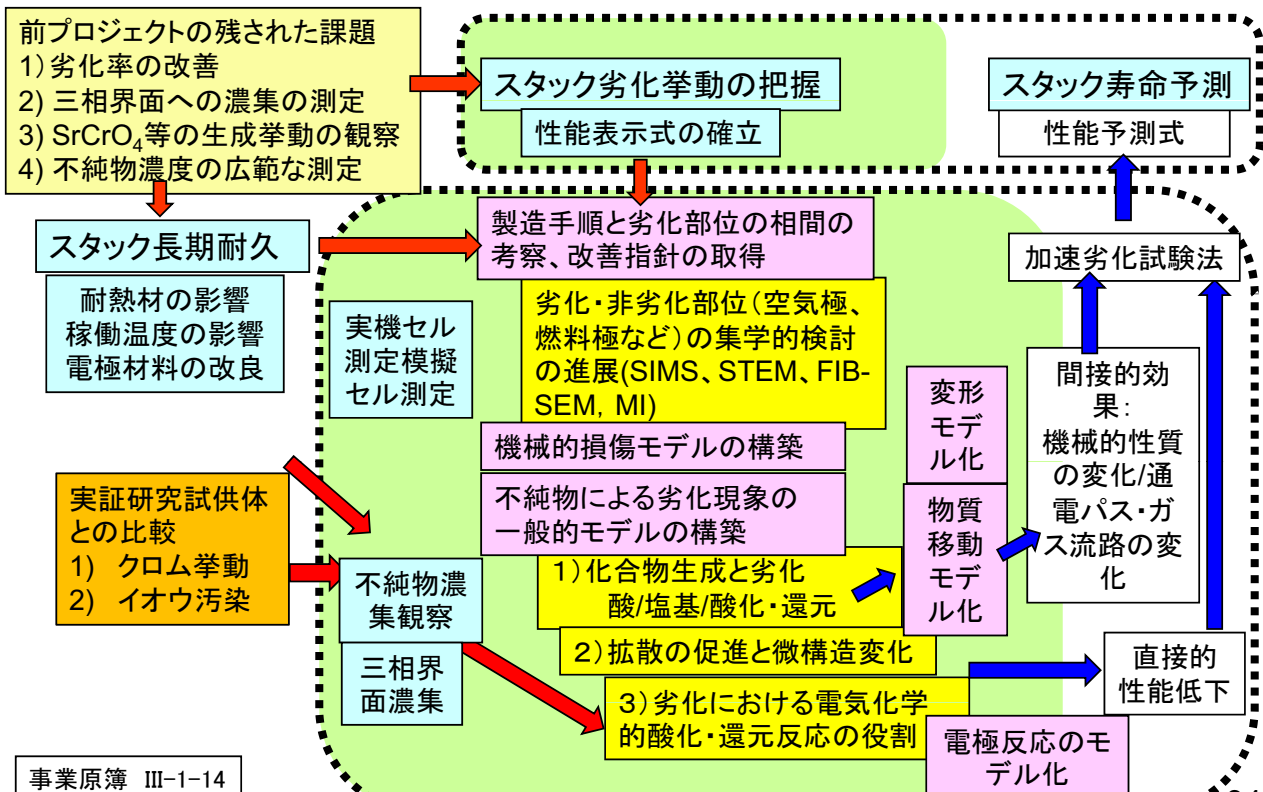
東北大による円形平板形の応力計算



産総研によるNi-S系状態図とNiの凝集

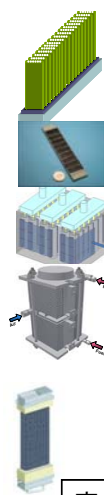


「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」～全体の進捗状況～



「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～

■ 目標達成 ■ ほぼ目標達成 ■ 課題

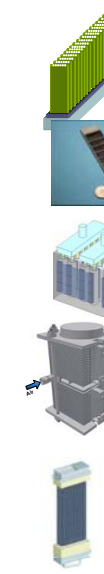


スタックメーカー	耐久試験電圧低下率(%/1000hr)				起動停止試験	
	空気極	燃料極	抵抗分	全体		
中温筒状平板形 (京セラ)	0.08	0.07	0.84	0.98	120回で1.2%	・耐久試験 850℃で、劣化が加速1
	0.04	0.06	0.25	0.27		
中温筒状横縞形 (東京ガス)	-	-	-	耐久試験 0.31%	100回で0.8% (2000時間耐久後)	
高温円筒縦縞形 (TOTO)	0.00※	0.22%※	0.88%※	耐久試験 1.1%	CSS8回、HSS47回のサイクルで、1.4%	※セルの集学的分析結果からの推定値
中温円形平板形 (三菱マテリアル、関西電力)	0.04	-0.19	1.05	0.79	・40回のサイクルで、1.8%まで改善	
	0.00	0.50	0.78	1.31		
円筒横縞形 (三菱重工業)	0.6	-0.07	0.36	0.89	平成22年後期に実施	・空気極改善により0.21%/1000hを実現
	0.84	-0.15	0.07	0.76		

事業原簿 III-1-13

「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」
～製造手順と劣化部位の相関～

- 解決に取り組んでいる課題
- ◎ 解決策が見えてきた課題
- 改善が必要な課題
- △ 注視している課題




	製造手順	空気極	電解質	燃料極	IC	接続	耐久性現状
中温筒状平板形 産総研	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 産総研	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 TOTO	空気極支持型 電解質、IC 燃料極		● 燃料極側	●		△	燃料極側で不純物濃度大、Cr被毒なし
中温円形平板形 三菱マテリアル・関西電力	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 三菱重工業(株)	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

■ 電解質とほぼ同時に製膜される部位

事業原簿 III-1-15

「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」
～解決策が見えてきた課題～

LSF系空気極 YSZ電解質



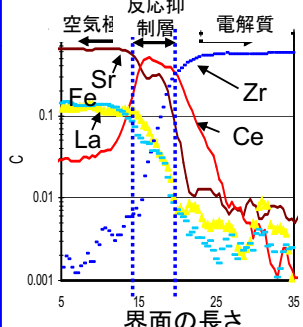
セリア中間層

背景

- 1) セリア・ジルコニア固溶体は中間組成でイオン伝導度が低い。
- 2) セリアの焼結度が悪いとSrが拡散してSrZrO₃形成

前プロジェクト成果

5000h耐久後

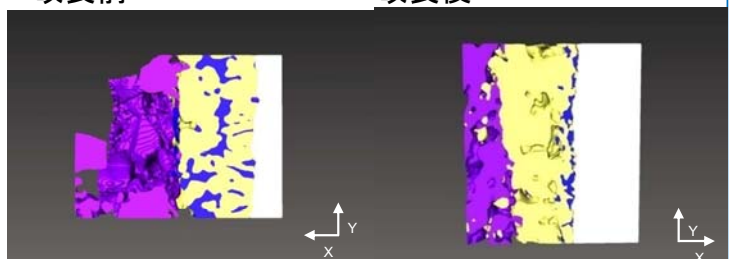


京大(FIB=SEM)による三次元像の構築とその実機への適用

中温筒状平板形の空気極中間層の最適化への貢献

SeZrO₃相の可視化

改良前 改良後



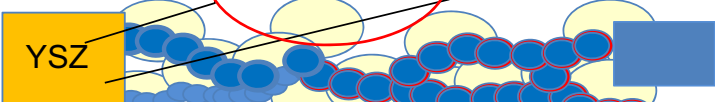
「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」
～新たに見いだされた課題(1)～

不純物による劣化の一般化されたモデルの構築

電気化学的
活性点領域

拡散による微
構造変化

化合物生成と
トラップ効果



SIMSが有効

FIB-SEM、STEMが最も有効

シミュレーションの重要性

Niの凝集

- 1) 通常はバルク拡散によるので高温ほど顕著。
- 2) Ni凝集の促進効果がスタックによって現出

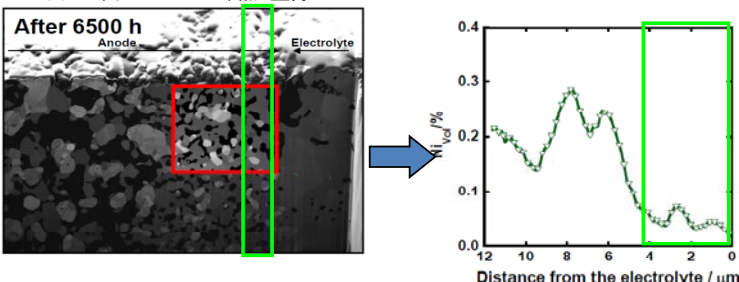
不純物; 添加物

京大(FIB=SEM)による三次元像の構築とその実機への適用

ニッケルの凝集と電解質・燃料極界面からの後退

白: Ni, グレー: SSZ, 黒: 空隙

After 6500 h



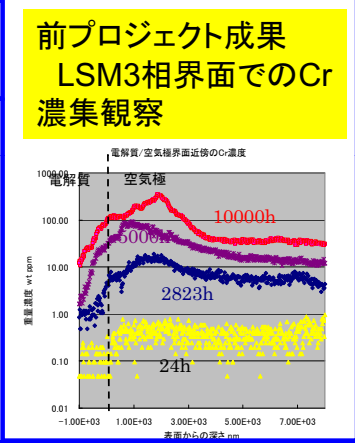
「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」
 ～新たに見いだされた課題(2)～

不純物による劣化の一般化されたモデルの構築

電気化学的活性点領域 拡散による微構造変化 化合物生成とトラップ効果

YSZ SIMSが有効 FIB-SEM、STEMが最も有効

シミュレーションの重要性



産総研(SIMS)による三相界面濃集の測定とその実証機への適用

高温円筒縦縞形燃料極劣化の詳細解析
 Sばかりでなく P, Siの重要性

燃料極中の不純物元素分布

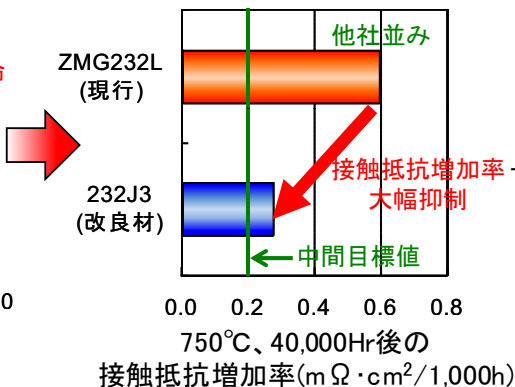
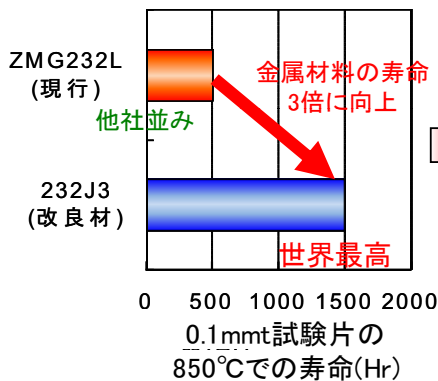
燃料極 : 電解質

トラブル無 脱硫器トラブル

「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) 耐久性を改良した低コスト金属インターコネクト材料開発

項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題
1) 合金組成の改良 …接触抵抗増加率低減	<0.2mΩ・cm ² /1000h	合金改良により中間目標達成の見通し	○	Cr蒸発による発電性能低下抑制
2) 表面処理による改良 …Cr蒸発の抑制	Cr蒸発性の評価	表面処理によるCr蒸発抑制効果確認	○	合金+表面処理の組合せ選定
3) 発電試験評価	上記1,2)へフィードバック	上記1,2)の方針確定	○	上記1,2)の改良

スタックメーカー3社と協議し、発電性能に寄与する特性として、目標値設定

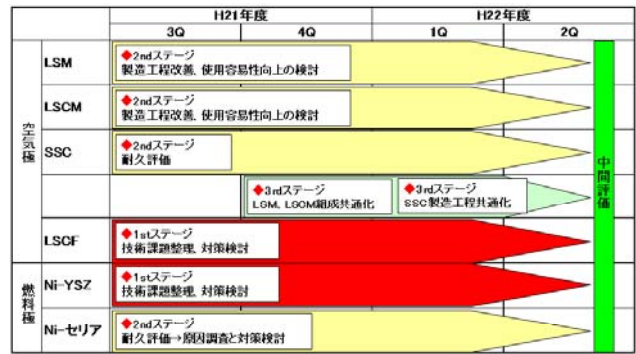
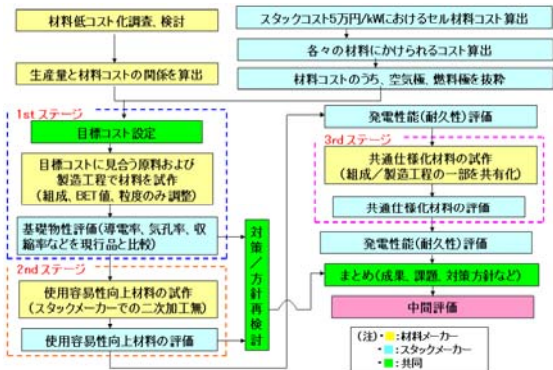


PAT: 2件(出願) 発表他: 9件

「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

中間目標(H22年度)	達成度	成果
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。	○	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。空気極材料、燃料極材料の共通仕様について検討し、技術課題を抽出するとともに、開発方針を策定した。
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。	○/△	



事業原簿 III-1-37, 41, 46

【低コスト化開発方針】

【スタックメーカーによる材料評価の進捗状況】

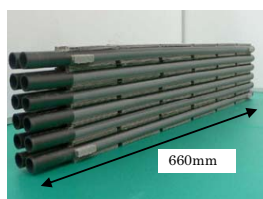
運用性向上のための起動停止技術(円筒縦縞形:TOTO)

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

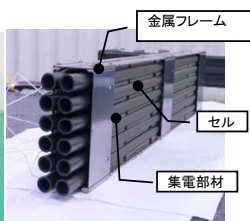
総合評価



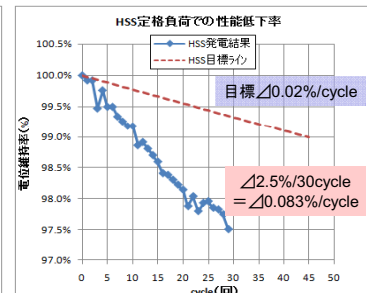
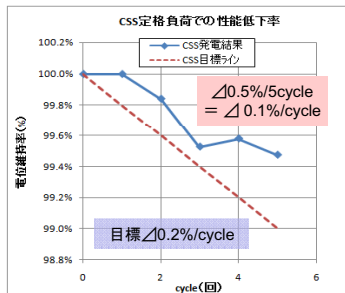
項目	成果のまとめ	評価
スタック構造の開発	フレーム固定スタックを考案し、CSS 0.2%/cycleの見通しを得た。	○
モジュール構造の開発	モジュールの各構成要素の耐熱衝撃性を評価・改良し目標達成の見通しを得た。	○
5kWモジュール要素技術開発	熱サイクル下でもセル周りの気密を維持する仕切り板構造を検証した。	○
CSS条件の設定	シミュレーションを併用し集電部の接触不良を回避する運転条件を設定した。	○
HSS条件の設定	経済性の高いHSS条件を設定し、0.022%/cycleの見通しを得た。	○
1スタックモジュール評価	上記構造・運転条件において、CSS 9cycle+HSS 45cycle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。	△



従来型スタック構造



フレーム固定スタック構造 (改良型)

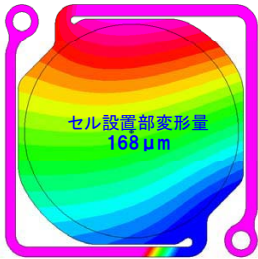


事業原簿 III-2-55~56

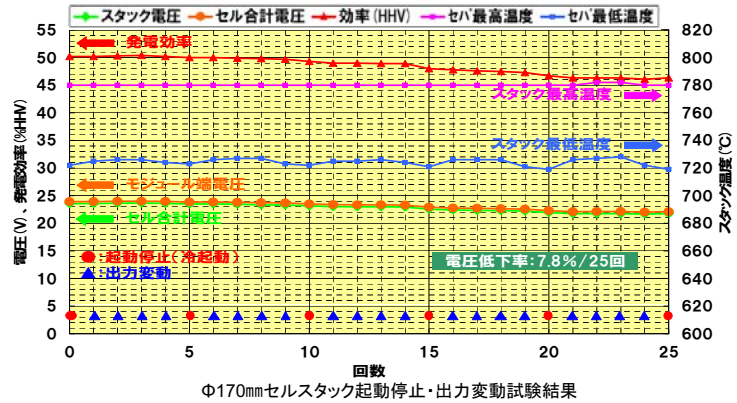
1kWモジュールでの起動停止試験結果(左図:CSS,右図:HSS)

運用性向上のための起動停止技術(円筒平板形:三菱マテリアル-関西電力)

中間目標	成果	達成度	課題
起動停止出力変動試験を実施し電圧低下率10%/250回を見通す	Φ120mmセルスタック: 7.3%/250回(起動停止5.0%/50回、出力変動2.3%/200回)。	○	低コスト化
	Φ170mmセルスタック: 7.8%/25回(起動停止3.2%/5回、出力変動4.6%/20回)。 <電圧低下の原因抽出> ○セル損傷 ・電極/電解質の還元膨張・熱膨張の差 ・セル面内の温度差 ○放熱板上下セルの電圧低下、セル/集電体/セパレータ間の接触抵抗増大 ・放熱板によるセパレータの一樣な変形の阻害	△	セル損傷防止 接触抵抗増大防止
水素窒素レスでの起動停止	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。 水素・窒素レスでの緊急停止方法の立案。	○	-
マルチスタックモジュールの設計・製作	水素窒素レスにて起動停止が可能なモジュールの設計・製作を実施した。	○	検証試験の実施



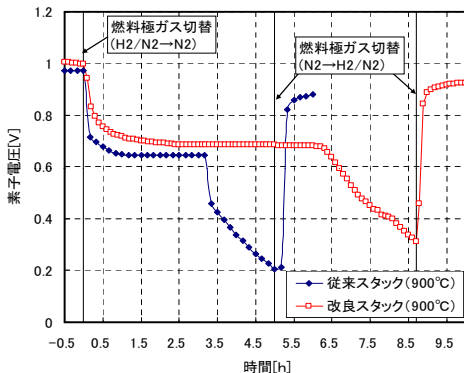
Φ170mmセルスタックのセパレータ変形解析例



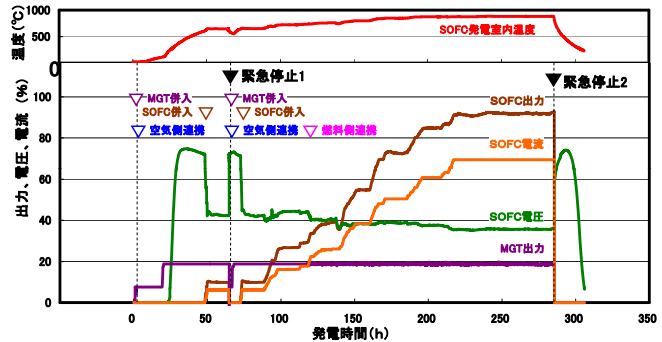
Φ170mmセルスタック起動停止・出力変動試験結果

超高効率運転のための高圧運転技術(三菱重工業)

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健全性・発電特性・伝熱特性の実験的検証	○
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	◎



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。

知的財産権、成果の普及

	H20	H21	H22	計
特許出願(成立特許)	6	13	1	20 件
論文(査読付き)	33	39	25	97 件
研究発表・講演	91	198	57	346 件
受賞実績		1		1 件
新聞・雑誌等への掲載 ※1		2	1	3 件
展示会への出展	2	7		9 件

※1:事業化関連含む

平成22年度7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)	三菱重エニューズ (広報発表) ウェブ版・長崎 ニューズ
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

最終目標達成の見通し(その1)

研究テーマ	最終目標(平成22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。	一部電解質に課題のある点を除いて、製造手順に起因する劣化は解決できるであろう。スタック構造に起因する劣化の解決が最後まで残るであろう。 共通基盤的な劣化機構解明は大きく進展するであろう。個別劣化現象毎の加速試験法は可能であろう。機械的性質に関連した劣化の取り扱いは複雑であるが、加速試験法の提案はできるであろう。
低コスト金属インターコネクタ材料開発	セルスタック5万円/kW程度の見通しを得る。	接触抵抗増加率とともにCr蒸発抑制を同時達成すべき課題と再設定することで耐久性の目標達成が見通せる。低コスト化の目標では、低コストプロセスを開発し改良材に適用することで達成の見込み。
低コストセル材料開発	セルスタック5万円/kW程度の見通しを得る。	ターゲットコストを設定し、試作・評価を行った結果、検出された微量成分の課題について、閾値を設定することにより、目標達成が可能。

最終目標達成の見通し(その2)

研究テーマ	最終目標(平成22年度末)	達成見通し
運用性向上のための起動停止技術開発(TOTO)	耐久性4万時間の見通しを得る。起動停止回数250回の見通しを得る。	起動停止50回において確認済。電解質粉末化対策および長時間運転と起動停止の関連評価・対策することで達成可
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)	耐久性4万時間の見通しを得る。起動停止回数250回の見通しを得る。	φ120mmセルスタックにて起動停止250回において見通しを確認済。 φ170mmセルスタックでは電圧低下の要因(セル破損、接触不良)分析し対策する必要あり。
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	基礎研究を反映して改善したセルスタックの数千時間の長時間試験にて耐久性を検証する。信頼性PJのセルスタック試験ではH22年度までに経時電圧低下率0.21%/1000時間の実績が得られている。 高圧運転技術については、セルスタック・モジュールの高圧での実圧検証にて性能・健全性を検証する。 250kW級SOFC-MGT実証機の運転試験にてシステム信頼性の検証を行う。 以上の取り組みで最終目標を達成するとともに、実用に向けたシステム信頼性の検証を行う。

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細井
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細井
III. 研究開発成果	1. 各テーマの進捗と中間目標の達成度 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

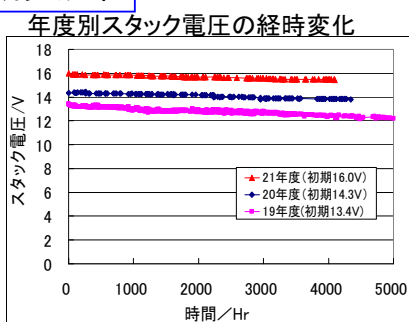
IV. 実用化、事業化の見通しについて

家庭用SOFCコジェネレーションシステムの導入

耐久性

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%/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	0.7%/1000 h	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

実証研究成果



* 耐久条件: 750°C 0.3A/cm² Uf=70%

スタックの主な改良点と劣化率

年度	スタックの主な改良点	劣化率 (%/1000hr)
H19	1) 金属のコーティング	-1.5
H20	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	-1.0
H21	1) 中間層厚み均一化 2) 金属のコーティング法改良	-0.7

スタックの初期性能の向上および耐久性向上に伴い、実証研究機の機器発電効率も向上

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。

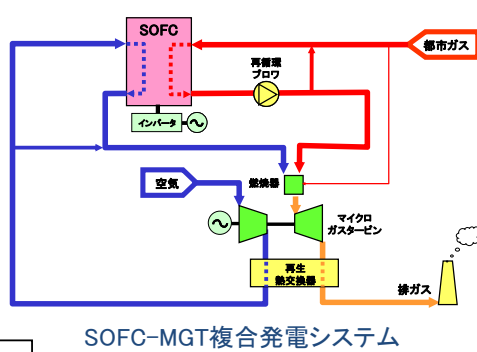
個別過程の物理化学的理解から長時間耐久予測(セル挙動、スタック挙動、システム挙動)

小・中容量定置用SOFCシステムの導入

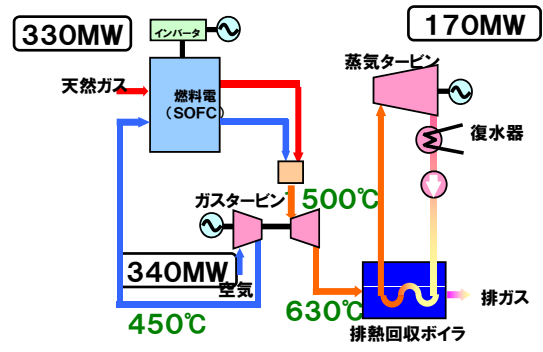
本事業では、起動停止における熱サイクルに強いモジュール構造および運転方法を提供してきた。実用化に向けてこの成果をさらに低コストで実現することが必要であり、セルの発電出力密度の向上とセル/スタック/モジュールの量産化技術が重要である。

中容量定置用SOFC・GTハイブリッドシステムの導入

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。

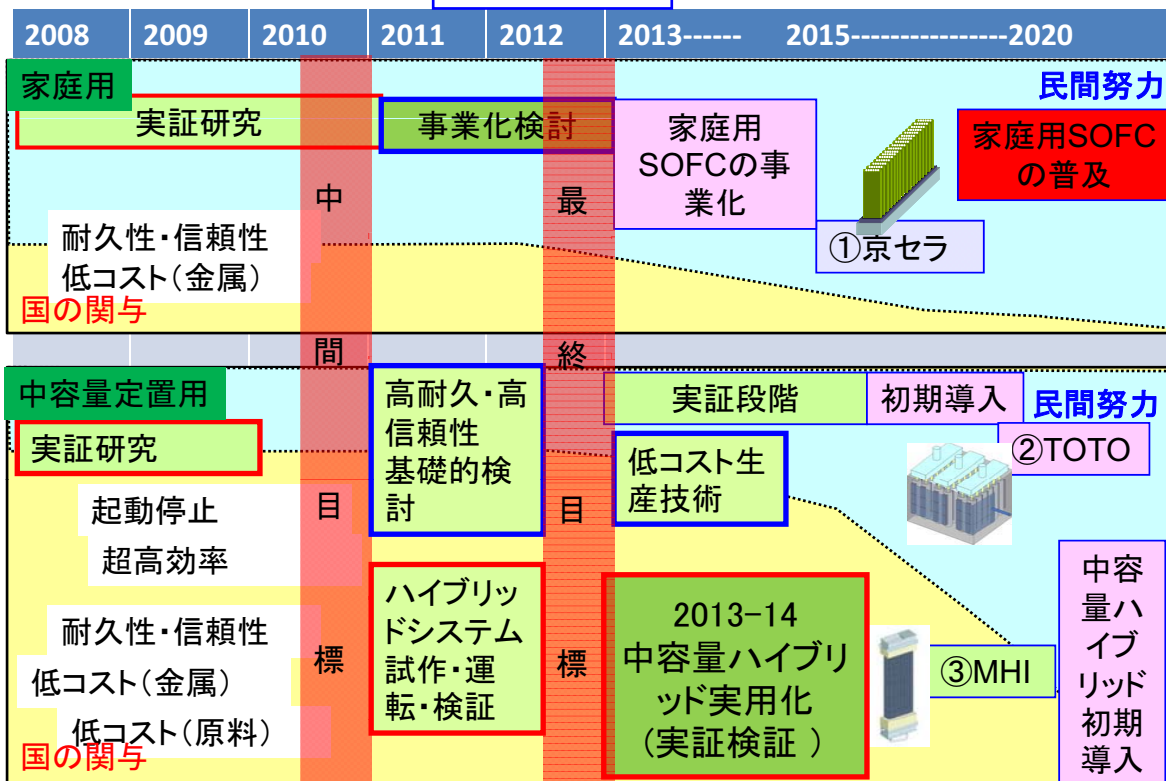


事業原簿 IV-1-1



事業用システム

事業化シナリオ



事業原簿 IV-1-1

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。

