

平成 3 1 年度実施方針

次世代電池・水素部

1. 件名： 固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発

2. 根拠法：

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 1 5 条第 1 号ニ及び第 3 号

3. 背景及び目的・目標

(1) 研究開発の背景及び目的

①政策的な重要性

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、交通量の多い都市部等における地域環境問題（NO_x、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。

燃料電池は、上記の課題解決に向けたキーテクノロジーとして、その実用化が強く期待されている。「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」（経済産業省、平成 2 0 年（2 0 0 8 年）3 月）では、CO₂排出量の大幅削減を可能とする 2 1 の革新技術の一つとして、民生部門で定置用燃料電池が選定されている。加えて発電・送電部門においても、燃料電池-ガスタービンハイブリッド発電、石炭ガス化燃料電池複合発電が挙げられている。また、「エネルギー基本計画」（経済産業省、平成 2 2 年（2 0 1 0 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。数種類あ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、天然ガスや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、その実用化が強く望まれている。

②我が国の状況

上述の期待を背景に実施した「固体酸化物形燃料電池実証研究」（平成 1 9 年（2 0 0 7 年）～平成 2 2 年（2 0 1 0 年））及び「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」（平成 2 0 年（2 0 0 8 年）～平成 2 4 年（2 0 1 2 年））（以下「前プロジェクト」という。）の成果等により、平成 2 3 年（2 0 1 1 年）1 1 月に固体酸化物形燃料電池（以下「SOFC」という。）を用いた家庭用コージェネレーションシステム「エネファーム・タイプ S」が世界で初めて実用化され、高い発電効率を実証した。しかし、その本格普及のためには低コスト化と高耐久化の両立が喫緊の課題となっている。一方、数～数 1 0 0 kW の中容量システム、それ以上の大容量システムは、未だに技術開発の途上にある。また、燃料電池技術の応用である水電解水素製造技術、抜本的な低コスト化・高耐久化に有効な低温動作セル等は、現在も基礎研究段階である。

また、業務・産業用燃料電池においては平成29年（2017年）に市場投入が開始された。

③世界の取組状況

高効率発電システムとして期待の高いSOFCは、世界中で精力的な研究開発が行われている。米国では、石炭ガス化ガス発電を目標としたエネルギー省のプロジェクト「Solid State Energy Conversion Alliance」が実施されている。また、Fuel Cell Energy社、Versa Power Systems社、Delphi社、LG Fuel Cells社等の企業が大規模システム開発とセルスタック開発を行っている。さらに、Bloom Energy社は、100kW級システムを用いたエネルギー供給サービスを主にカリフォルニア州で展開しており、平成24年（2012年）にはソフトバンク社と合弁会社を設立して日本に進出した。欧州では、豪企業CFCL社や英Ceres Power社が、家庭用SOFCシステムの商用化を目指しており、独Calluxや欧州ene.field等の実証プロジェクトでは、Vaillant社、Hexis社、Bosch社等が家庭用SOFCシステムの実証試験を行っている。また、特に欧米では固体酸化物形水電解セル（SOEC）開発が活発化しており、独Sunfire社や米Versa Power Systems社等が開発を進めているほか、燃料電池技術を応用した水電解セルに関するプロジェクト（NEXPAL、EKOLYSER等）が進行中である。

このように、米国・欧州において、家庭用から発電事業用まで様々な用途・規模の燃料電池について技術開発及び実証研究が進められており、我が国の国際競争力強化等の観点から、引き続き戦略的・重点的な取組が不可欠である。

（2）研究開発の目標

①固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価方法に関する基礎研究（研究開発項目（a））

エネファームの本格普及期に必要な低コストと高耐久性を両立したSOFCシステムの開発を加速するため、耐久性迅速評価方法を確立する。

更に新たな課題・ニーズとして業務用SOFCの普及拡大のためモノジェネも視野に入れ、高効率化を目指したSOFCシステム（発電効率65%以上（LHV））が挙げられる。この高効率SOFCシステムの製品化を目指し、本事業期間中において高効率SOFCシステムのコンセプトをこれまでに培われた知見を活かし創出する。

[最終目標（平成31年度（2019年度））]

高効率化SOFCシステム（発電効率65%以上（LHV））のコンセプトを創出する。

[中間目標（平成29年度（2017年度））]

9万時間以上の耐久性を見通すことができる固体酸化物形セルスタックの耐久性迅速評価方法を確立する。

[中間目標（平成27年度（2015年度））]

9万時間以上の耐久性を見通すことができる固体酸化物形セルスタックの耐久性迅速評価方法を開発する。また、この評価方法を耐久試験後の実セルスタックに適用し、その妥当性の検証及び課題抽出を行う。

②固体酸化物形燃料電池を用いた業務用システムの実用化技術実証（研究開発項目（b））

業務用SOFCシステムの実証試験を実施し、その導入効果の検証及び実用化へ向けた課題抽出を行う。業務用として数～数100kWの中容量SOFCシステムの実負荷条件下での実証試験等を対象とする。

[最終目標（平成31年度（2019年度））]

小容量（数kW）SOFCシステムにより発電効率60%以上（LHV）の実証評価を行い、高効率発電時の課題抽出を行う。

[中間目標（平成29年度（2017年度））]

中容量（数～数100kW）SOFCシステムの導入効果検証及び課題抽出を行う。

③固体酸化物形燃料電池を用いた事業用発電システムの要素技術開発（研究開発項目（c））

ガスタービン及び蒸気タービンを組み合わせたトリプルコンバインドサイクルシステムに適用するSOFCセルスタック、SOFCとガスタービンとの連携技術等の要素技術開発を行う。

[最終目標（平成26年度（2014年度））]

以下に示すトリプルコンバインドシステムのSOFCセルスタック及びSOFCとガスタービン連携技術を開発する。

<トリプルコンバインドシステム>

発電規模（送電端）：数10MW以上（100MW未満）

発電効率（送電端）：60%LHV以上

建設コスト：25万円/kW以下

<上記のうちSOFCシステム>

発電規模：10～20MW

運転圧力範囲：大気圧～約3MPa

耐久性：9万時間（電圧低下率1%/1万時間以下）

製造コスト：30万円/kW以下

④次世代技術開発（研究開発項目（d））

固体高分子形燃料電池（PEFC）、固体酸化物形燃料電池（SOFC）等の従来型燃料電池と異なる次世代燃料電池の開発及びSOFCの新たな用途の実用化、商品性の向上、低コスト化等に関する技術開発を行う。

○可逆動作可能な固体酸化物型燃料電池による低コスト水素製造及び高効率発電を利用した電力貯蔵

[最終目標（平成29年度（2017年度））]

1) セルの基本性能

- ・ SORC単セル発電性能：500°Cにおいて電流密度200mA/cm²で0.5Vの端子電圧の達成
- ・ SORC単セル発電耐久性：500°Cにおいて電流密度100mA/cm²で初期動作電圧の2%以下の劣化率/1000時間
- ・ SORC単セル水蒸気電解性能：500°Cにおいて1.3Vの電解電圧において、電流密度0.3A/cm²を達成
- ・ SORC単セル水蒸気電解耐久性：500°Cにおいて電流密度0.3A/cm²で初期動作電圧の3%劣化/1000時間
- ・ 電解と発電の電気エネルギー効率80%以上

2) 円筒セル

- ・ 湿式法を用いたSORC作動が可能な円筒型セルの作成と動作確認
- ・ 理論起電力を示すLSGM薄膜からなるセルの作成法、拡散抑制層の作成法の開発
- ・ 発電と電解の繰り返し50サイクル以上の安定性の達成、50サイクル後、初期特性の80%の維持

3) Fe粉体

- ・ 400°Cにおいて初期の水素供給・吸蔵速度 110 mmol H₂/Kg Fe/min
- ・ 水素供給・吸蔵速度の耐久性 初期の水素供給・吸蔵速度に対して100cycle後の維持率を80%以上とする

[中間目標（平成27年度（2015年度））]

Fe粉体を水素貯蔵・製造に用いる固体酸化物形可逆セル（SORC）の開発を行い、以下の項目の達成を目指す。

1) セルの基本性能

- ・ SORC単セル発電性能：電流密度10mA/cm²で0.5Vの端子電圧の達成
- ・ SORC単セル発電耐久性：電流密度10mA/cm²で初期動作電圧の2%以下の劣化率/1000時間
- ・ SORC単セル水蒸気電解性能：1.3Vの電解電圧において、電流密度0.2A/cm²を達成
- ・ SORC単セル水蒸気電解耐久性：電流密度0.2A/cm²で初期動作電圧の3%劣化/1000時間

2) 円筒セル

- ・ 湿式法を用いたSORC作動が可能な円筒型セルの作成と動作確認
- ・ 理論起電力を示すLSGM薄膜からなるセルの作成法、拡散抑制層の作成法の開発

3) Fe粉体

- ・ 初期の水素供給・吸蔵速度：113.7 mmol H₂/Kg Fe/min
- ・ 水素供給・吸蔵速度の耐久性：初期の水素供給・吸蔵速度に対して100cycle後の維持率を70%以上

○マイクロSOFC型小型発電機

[最終目標（平成26年度（2014年度））]

カセットガスを燃料とする、マイクロチューブSOFCを用いた小型発電システムの開発を行い、以下の項目の達成を目指す。

- ・定格電流値（ 0.2 A/cm^2 ）でのマイクロチューブセル初期電圧偏差が10%以下となる、マイクロチューブ製造条件を確立する
- ・数10W級マイクロチューブセルスタックを作製し、 $550^\circ\text{C}\sim 650^\circ\text{C}$ で炭素析出なく動作し、かつ発電量の低下が初期の100時間で10%以下を達成する
- ・マイクロチューブセルで発電効率40%（LHV）以上での安定運転を可能とするカセットガスの改質条件を確立する
- ・システム停止状態から定格 $550^\circ\text{C}\sim 650^\circ\text{C}$ まで5分以内に急速起動できる均一加熱条件を確立する
- ・下記の項目を満たすDC200W級システムを試作し、実用化への課題を抽出する
 - －システム重量5kg以下
 - －発電端効率40%（LHV）以上
 - －発電量低下が100回コールドスタート条件で、初期の10%以下

○中温作動型酸化物プロトンSOFCの開発

[最終目標（平成27年度（2015年度））]

600°C で $1 \times 10^{-2}\text{ S/cm}$ 程度の高イオン伝導度を有する混合イオン伝導体を開発し、それに適したアノード、カソード材料の選定・開発を行う。電解質厚さ $5\ \mu\text{m}$ 以下の平板型薄膜単セルを試作して性能評価を実施し、分極の内訳等の評価結果を基に、出力密度 0.7 W/cm^2 程度を見通すための対策を提示する。

4. 実施内容及び進捗状況

プロジェクトマネージャーにNEDO 新エネルギー部 大平英二主任研究員を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、プロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させた。

4. 1. 平成30年度までの事業内容

①固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価方法に関する基礎研究（研究開発項目(a)）

（国研）産業技術総合研究所 省エネルギー研究部門 副研究部門長 堀田照久氏をプロジェクトリーダー（PL）として以下の研究開発を進めた。

実施者は以下の通り。

一般財団法人電力中央研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、TOTO株式会社、日本特殊陶業株式会社、日本ガイシ株式会社、株式会社村田製作所、株式会社デンソー（平成27年（2015年）11月から）、国立大学法人九州大学、国立大学法人京都大学、国立大学法人東京大学、国立大学法人東北大学

〔委託事業〕

1) スタック耐久性評価

新たなニーズとしてSOFCシステムの高効率化が求められている。このニーズに対応するためこれまでに培われた耐久性評価技術を適用して協力可能なスタックメーカーから提供されたセルスタックを適用して高燃料高利用率時の特性の取得及び負荷変動時の電池特性を取得するために、評価装置を構築すると共に、評価プロトコルを作成した。これらにより高燃料高利用率時の電池特性と負荷変動時の電池特性のデータ取得に着手した。

2) 劣化機構解明

スタック耐久性評価で過酷試験された劣化事象を切出し、高効率・強靱化のための要素解析、劣化機構解明に着手した。高効率・強靱化に必要な評価方法の検討にも着手した。

3) 耐久性迅速評価方法の開発

高燃料利用率下での燃料極微構造変化と性能、機械的な変形等の事象をシミュレーションが可能となるよう基礎データの取得に着手した。

②固体酸化物形燃料電池を用いた業務用システムの実用化技術実証（研究開発項目(b)）

実施者は以下の通り。

三浦工業株式会社、三菱日立パワーシステムズ株式会社、富士電機株式会社、日立造船株式会社、トヨタ自動車株式会社、日本特殊陶業株式会社、株式会社デンソー

〔助成事業（助成率：1／2）〕

○固体酸化物形燃料電池を用いた5kW級業務用システムの実証評価

（平成28年度（2016年度）終了）

○円筒形SOFC-ガスタービンハイブリッドシステムの実用化に向けた運転技術実証

（平成29年度（2017年度）終了）

○中容量常圧型円筒形SOFCシステムの実用化技術実証

（平成29年度（2017年度）終了）

○固体酸化物形燃料電池（SOFC）による業務用・産業用システム実証及び事業化検討

（平成29年度（2017年度）終了）

○燃料リサイクル機構を用いた高効率固体酸化物形燃料電池実用化技術開発

基本性能評価を実施し、ベンチテストモジュールの設計に反映し、試作を実施。出力、効率に関する基本性能の検証、並びに最終目標に向けた課題を抽出した。並行して実用化技術課題抽出用のシステムの設計を実施、試作に着手した。

③固体酸化物形燃料電池を用いた事業用発電システムの要素技術開発（研究開発項目(c)）
実施者は以下の通り。

三菱日立パワーシステムズ株式会社〔共同研究事業（NEDO負担率：1/2）〕
（平成26年度（2014年度）終了）

④次世代技術開発（研究開発項目(d)）

実施者は以下の通り。

国立大学法人九州大学、パナソニック株式会社、岩谷産業株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所、岩尾磁器工業株式会社

〔委託事業又は共同研究事業（NEDO負担率：1/2）〕

○可逆動作可能な固体酸化物型燃料電池による低コスト水素製造及び高効率発電を利用した電力貯蔵〔委託事業〕
（平成29年度（2017年度）終了）

○マイクロSOFC型小型発電機〔委託事業〕
（平成26年度（2014年度）終了）

○中温作動型酸化物プロトンSOFCの開発〔共同研究（NEDO負担率1/2）〕
（平成27年度（2015年度）終了）

4. 2. 実績推移

	平成25年度 2013年度	平成26年度 2014年度	平成27年度 2015年度	平成28年度 2016年度	平成29年度 2017年度	平成30年度 2018年度
実績額推移 （需給勘定） （百万円）	328	816	1,133	1,962	633	715
特許出願件数 （件）	2	35	6	16	11	0
論文発表件数 （報）	26	41	29	20	33	17
フォーラム （口頭発表）等 （件）	104	143	56	78	72	54

（平成30年度（2018年度）の値は、見込みを含む）

5. 事業内容

プロジェクトマネージャーにNEDO 次世代電池・水素部 原大周主任研究員を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、プロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

(1) 平成31年度事業内容

前記目標を達成するために、各研究開発項目について以下のとおり実施する。

①固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価方法に関する基礎研究（研究開発項目(a)）

（国研）産業技術総合研究所 省エネルギー研究部門 副研究部門長 堀田照久氏をプロジェクトリーダー（PL）として以下の研究開発を進める。

実施者は以下の通り。

一般財団法人電力中央研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人九州大学、国立大学法人京都大学、国立大学法人東京大学、国立大学法人東北大学。なお、メーカーについては現状参画しているメーカーから本事業への協力可能な者を別途選定する。更にセルスタックの強靱化の方法について新たな手立てが必要となる場合は事業者の追加公募を行う。

また、SOFCに関して用途の実用化、商品性の向上に向けた調査を、国立大学法人東京大学、株式会社イー・コンサルに委託して実施する。

〔委託事業〕

1) スタック耐久性評価

耐久性迅速評価プロジェクトで開発されたスタックに対して、過酷試験（運用限界近傍での試験）を実施し、試験後の解析評価を行う。これにより高効率運転時の劣化因子・課題を抽出する。

プロトン導電型の固体酸化物形燃料電池については性能向上、熱機械的特性向上に向けた課題抽出を行う。

2) 劣化機構解明

これまでのプロジェクトで構築してきた運転時のセル挙動の評価手法を発展させ、高燃料利用率・出力変動運転時の各種模擬セルに適用してその挙動解明を行う。また過酷試験に供されたセルスタックについて、物理化学的な手法、機械的な手法や電子顕微鏡を適用した評価解析手法により、電極の微構造変化と劣化機構の相関を解明する。さらに各条件下における劣化現象に対応可能なデータベースを構築する。

3) 耐久性迅速評価方法の開発

高燃料利用率下での燃料極の微構造変化と性能、機械的な変形等の事象をシミュレーションすることが可能となるようにする。このため燃料極の劣化予測手法を構築し、過酷条件における温度、電流密度等のセル内分布を予測する手法と機械的挙動の解析が可能となるシミュレーションの開発を行う。

②固体酸化物形燃料電池を用いた業務用システムの実用化技術実証（研究開発項目（b））

実施者は以下のとおり。

株式会社デンソー

〔助成事業（助成率：1／2）〕

○燃料リサイクル機構を用いた高効率固体酸化物形燃料電池実用化技術開発

起動・停止、発電等の基本作動に関する SOFC システムの稼働安定性を評価し制御上の課題を抽出する。特に部分負荷運転制御の最適化を含め SOFC システム全体での実証試験を行い、実効率から導入効果の検証等を実施し、実用化に向けた課題を抽出する。また、基礎耐久課題を明確にする。

（2）平成31年度事業規模

需給勘定 820百万円（委託、助成）（継続）

※事業規模については変動があり得る。

6. その他重要事項

（1）評価の方法

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、技術評価実施規程に基づき、前倒し事後評価を平成31年度（2019年度）に実施する。

（2）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、PL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・目標、本研究開発の目的・目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、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。

なお、必要により公募を行い、SOFCに関して用途の実用化、商品性の向上に向けた調査事業を実施する。

（3）複数年度契約の実施

原則として平成25～31年度（2013～2019年度）の複数年度契約を行う。

（4）知財マネジメントにかかる運用

研究開発項目（a）については、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に従ってプロジェクトを実施する。

（5）標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、国際標準化等との連携を図るため、データベースへのデータ提供、標準技術情報（TR）制度への提案等を戦略的かつ積極的に行う。

8. スケジュール

8. 1 本年度のスケジュール：

1 1月下旬 前倒し事後評価の実施

9. 実施方針の改訂履歴

平成31年（2019年） 2月21日 制定

(別紙)

平成31年度事業実施体制図

固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発 実施体制 (H31年度)

