

平成30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15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20年（2008年）3月）では、CO₂排出量の大幅削減を可能とする21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22年（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。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19年（2007年）～平成22年（2010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20年（2008年）～平成24年（2012年））（以下「前プロジェクト」という。）の成果等により、平成23年（2011年）11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100kW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29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)）

東京大学 特任教授 横川晴美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

各社スタックについて、初期劣化実績＋シミュレーション＋迅速評価法にて、9万時間劣化率の判定を行った。

第1グループ（中温筒状平板形、高温円筒横縞形）では、耐久試験を引き続き継続し、2万時間以上の運転を行い、推定される劣化メカニズムの確度を向上させた。耐久試験（運転）期間が累計2万時間以上となるスタックを基盤機関の解体分析によって得られた成果からメカニズムを推定した。また、物質反応速度の推定から耐久性の迅速評価を実施した。さらに新たな劣化要因がないことを確認した。第2グループ（低温小型円筒形）では、運転実証により9万時間耐久性の見通しを得られるか検証した。見通しが得られなかったため、改善点を明確にし、評価技術の改良案を提案した。第3グループ（中温平板形、中温筒状横縞形、中温一体焼結形、業務用平板形）では、劣化要因対策後のスタックの耐久性試験を継続し詳細な劣化挙動解析を行い、基盤技術で蓄積したデータを基に劣化機構を解明した。劣化挙動の理論的裏付けを行い、改善策等を得た。

2) 劣化機構解明

単独要因劣化から複雑要因の劣化へと高度化・複雑化された劣化機構を集学的に解明した。長期運転セルスタック及び改良後長期運転セルスタックの解体分析（SEM／EDS、SIMS、Raman）で新たな劣化挙動がないか検証した。劣化挙動については新たなものは見いだせなかった。

3) 耐久性迅速評価方法の開発

材料劣化に起因する性能低下と運転状況の変化による性能低下を識別する手法を適用する必要があり、空気極劣化とオーム損増加との相関を解明した。（セル・スタックレベル、局所的劣化近傍レベル、粒子レベル）

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5 kW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
SOFC-マイクロガスタービハイブリッドシステム機の実証運転を実施し、運転管理に資するデータ等を取得した。（平成29年度（2017年度）終了）

○中容量常圧型円筒形S O F Cシステムの実用化技術実証

実証機にて発電試験を実施し、安定運転方法を確立した。市場導入に向けた常圧システムの設計技術を習得した。（平成29年度（2017年度）終了）

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

実証機にて継続発電運転を実施し、基本性能、耐久性を確認した。実証試験を通じて、商品機へ向けた構造上、技術上の課題をクリアした。また、導入サイト毎の運用上の課題を整理した。（平成29年度（2017年度）終了）

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（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）

1) 高効率発電及び低コスト水素製造を両立するS O R C電極・電解質の研究開発

空気極高性能化を行い、酸素の酸化と還元にもいずれも活性を示す組成の最適化を行った。

2) セル評価

小型組セルの作成とガスシール材の開発を行った。作成した試作セルのガス緻密性を評価した。

3) 低温で酸化還元するF e粉体の合成

小型組セルに応用するための、微粒子の触媒修飾F eの大量合成を行い、混合度と微粒子化による水素の発生速度の向上とF eナノコンポジット粉体を合成した。

○マイクロS O F C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S O F C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	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
実績額推移（需給勘定） （百万円）	328	816	1,133	1,962	633
特許出願件数（件）	2	35	6	16	11
論文発表件数（報）	26	41	29	20	33
フォーラム （口頭発表）等（件）	104	143	56	78	72

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30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 省エネルギー部門 副部門長 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メーカーを別途選定する。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

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燃料高利用率時の特性の取得及び負荷変動時の特性を取得する。合わせて劣化が生じているか否かを基盤機関により解体分析を行い、新たな劣化の有無を確認する。また、数千時間の運転により前プロジェクトで得られた劣化メカニズムとの比較を行うと共にシミュレーションによる評価を行う。これらの結果からメカニズムを推定する。

2) 劣化機構解明

高効率化、負荷変動によりどのような劣化するかを集学的に解明する。また、前プロジェクトで得られた劣化挙動との差異を検証し、新たな劣化挙動が無いか検証する。劣化が残る場合は、改良に必要な情報を提供する。

3) 耐久性迅速評価方法の開発

高効率化、負荷変動により材料劣化がどのように進行するかを運転状況の変化と相関付け性能低下の原因を導出する。また、性能低下原因を明確化し、改良に必要な情報を提供すると共に防止方法（セルスタックの強靱化等の方法）のコンセプトを導出する。（セル・スタックレベル）

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）]

○小容量（数kW）SOFCシステムの高効率発電の実証評価

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。

(2) 平成30年度事業規模

需給勘定 700百万円（委託、助成）（継続）

※事業規模については変動があり得る。

6. 事業の実施方式

6. 1 公募

(1) 掲載する媒体

「NEDOホームページ」及び「e-Radポータルサイト」で行う他、新聞、雑誌等に掲載する。

(2) 公募開始前の事前周知

公募開始の1か月前にNEDOホームページで行う。本事業は、e-Rad対象事業であり、e-Rad参加の案内も併せて行う。

(3) 公募時期・公募回数

平成30年3月

(4) 公募期間

原則30日間とする。

(5) 公募説明会

公募説明会を関東近郊にて1回開催する。

6. 2 採択方法

(1) 審査方法

e-Rad システムへの応募基本情報の登録は必須とする。

助成事業者の選定・審査は、公募要領に合致する応募を対象に NEDO が設置する審査委員会（外部有識者で構成）で行う。審査委員会（非公開）は、助成金交付申請書の内容について外部専門家（学識経験者、産業界の経験者等）を活用して行う評価（技術評価及び事業化評価）の結果を参考とし、本事業の目的の達成に有効と認められる助成事業者を選定した後、NEDO はその結果を踏まえて助成事業者を決定する。

申請者に対して、必要に応じてヒアリング等を実施する。

審査委員会は非公開のため、審査経過に関する問い合わせには応じない。

(2) 公募締切から採択決定までの審査等の期間

45日間とする。

(3) 採択結果の通知

採択結果については、NEDO から申請者に通知する。なお不採択の場合は、その明確な理由を添えて通知する。

(4) 採択結果の公表

採択案件については、申請者の名称、研究開発テーマの名称・概要を公表する。

7. 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、SOF C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)及び(d)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：

3月中旬	公募開始
3月下旬	公募説明会の開催
4月下旬	公募締切
5月上旬	契約・助成審査委員会
5月下旬	採択決定

9. 実施方針の改訂履歴

平成30年（2018年）	2月15日	制定
平成30年（2018年）	4月2日	担当部を新エネルギー部から次世代電池・水素部に変更
平成30年（2018年）	5月1日	プロジェクトマネージャー変更による改訂
平成30年（2018年）	10月4日	PLの選定と調査事業および助成事業実施先の選定による改訂

(別紙)

平成30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 (H30年度)

