

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

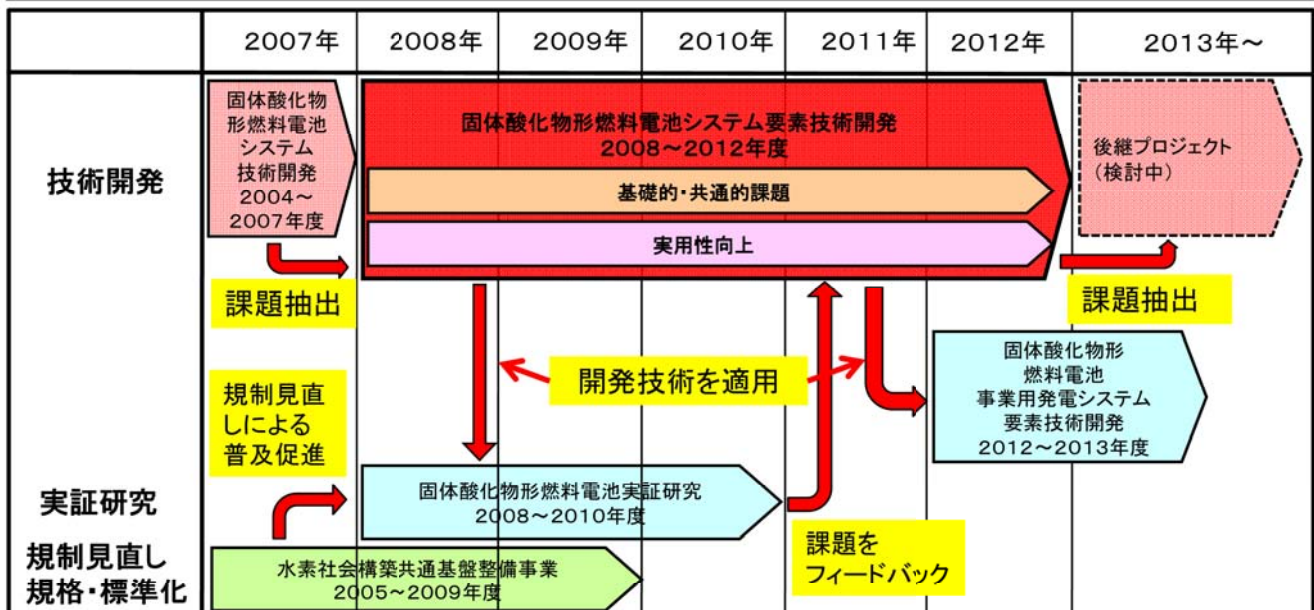


本事業で開発対象としているSOFCは、

- 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

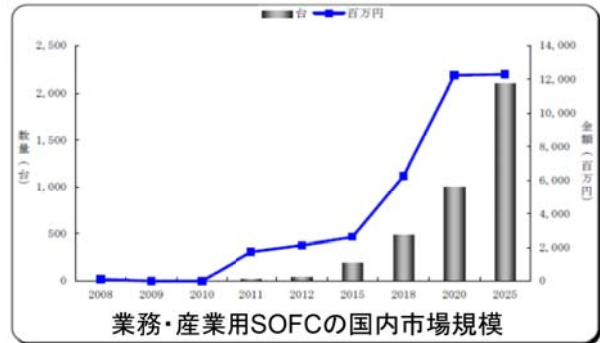
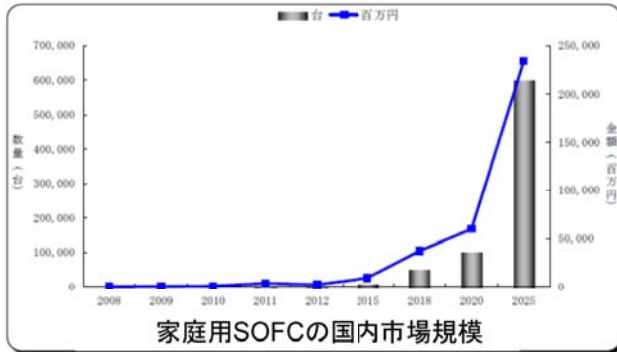
- ・SOFC普及には、技術開発、実証、規制緩和、規格標準化を連携・整合させて進める必要
 - ・SOFC劣化機構解明は技術的難易度が非常に高く、産学の緊密な連携が必須
- ⇒ NEDOによるプロジェクトマネジメントが適切かつ不可欠



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				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
			80 L				2		2
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
			90 L					2	2
			TOTO					2	2
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
			80 L					2	2
東京電力	都市ガス	京セラ	70 L	0.7kW		1	1		2
			70 L				1		1
東北電力	都市ガス	京セラ	70 L	0.7kW				1	1
			70 L		1	1	14	27	43
			200 L				1		1
新日本石油	LPG	新日本石油	70 L	0.7kW	1	1	1	1	4
			70 L				6	10	16
			70 L				2		2
TOTO	都市ガス	TOTO	130 L	0.7kW					2
			70 L		2				2
			なし			1			1
			なし						2
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	

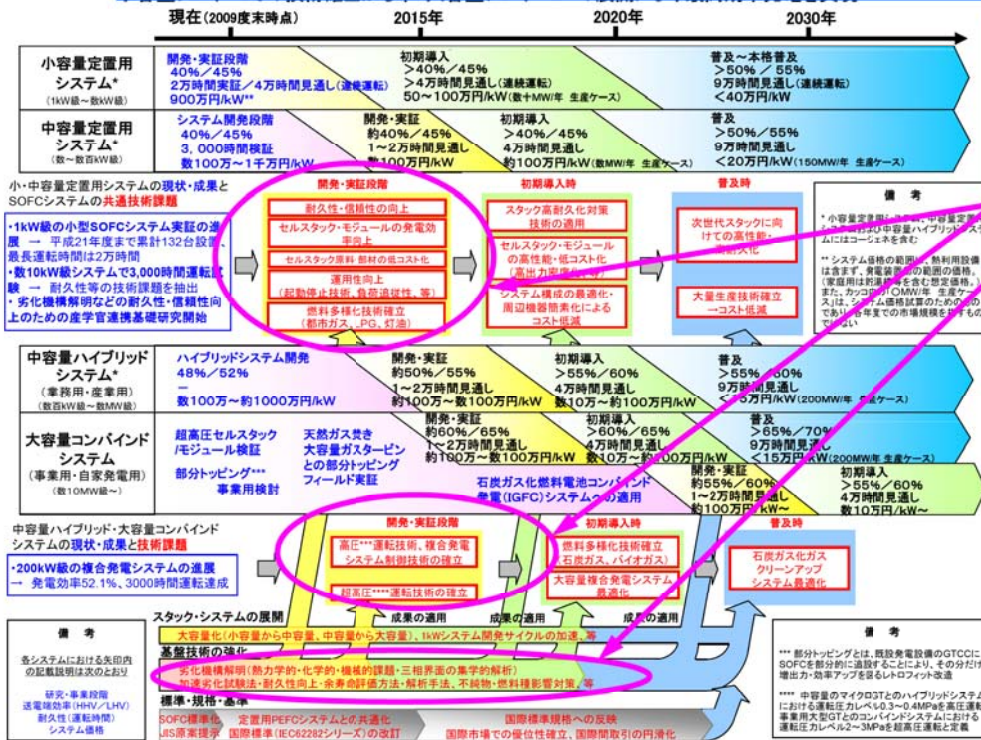
事業立案時点における背景

～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」

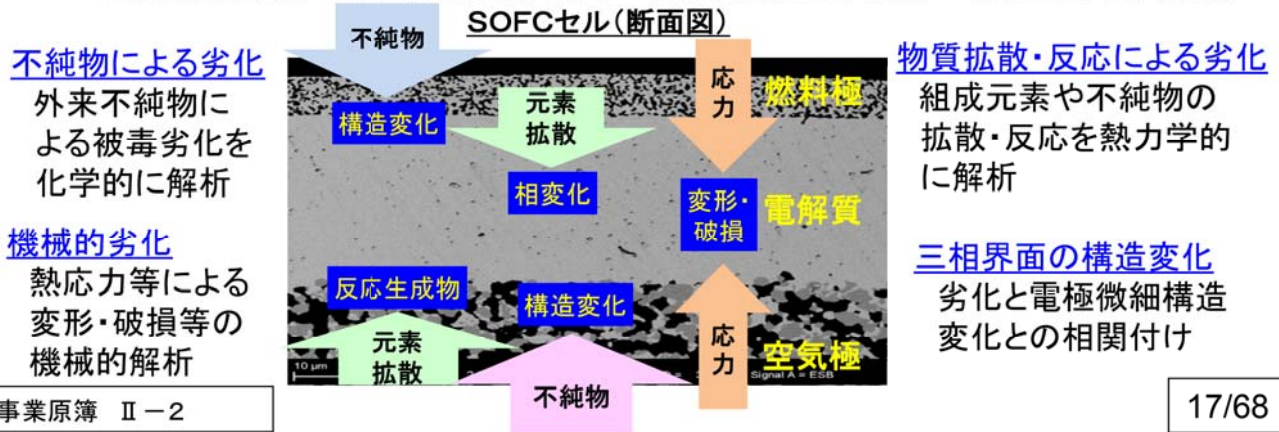
複数のセルスタックメーカーと大学・研究機関(基盤コンソーシアム)が密接に連携し、各セルスタックの構造・組成・製造法と劣化現象との相関を解明しながら、耐久性・信頼性向上を図る基礎研究を実施。

○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


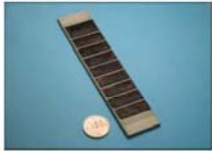
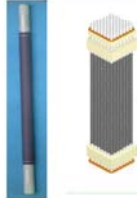

円筒縦縞形・円形平板形セルスタックは、「追加の基礎研究等が必要」と判断されたため(②実用性向上(a)起動停止技術)、前半で検討を終了。

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

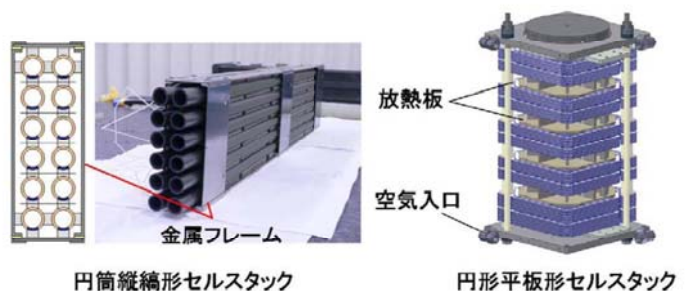
金属インターコネクタ材料		Fe-Cr系フェライト合金
セルスタック材料	燃料極	NiO-YSZ
		NiO-セリア (La,Sr)MnO ₃
	空気極	(La,Sr,Ca)MnO ₃
		(La,Sr)(Co,Fe)MnO ₃
		(Sm,Sr)CoO ₃

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

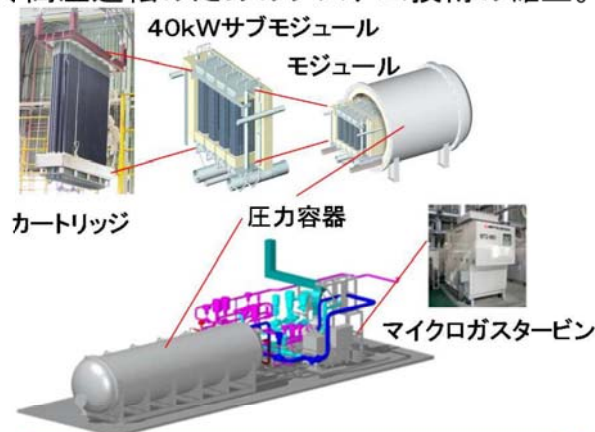
円形平板形セルスタック

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・共通課題					
(a)耐久性・信頼性の向上のための基礎研究	◆長期運転と起動停止のセル内部への影響 ◆加速劣化試験方法の検討 ◆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、余寿命予測式の開発			◆セルスタックの劣化機構解明 ◆加速劣化試験の検討 ◆余寿命予測式の開発 ◆シャットダウン耐性の検討	
(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	◆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 ◆低コスト化に必要な技術課題の抽出			(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	◆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			(中止)	
(b)超高効率運転のための高圧運転技術	◆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			◆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	08-10年度	11年度	12年度	合計
①基礎的・共通課題 (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

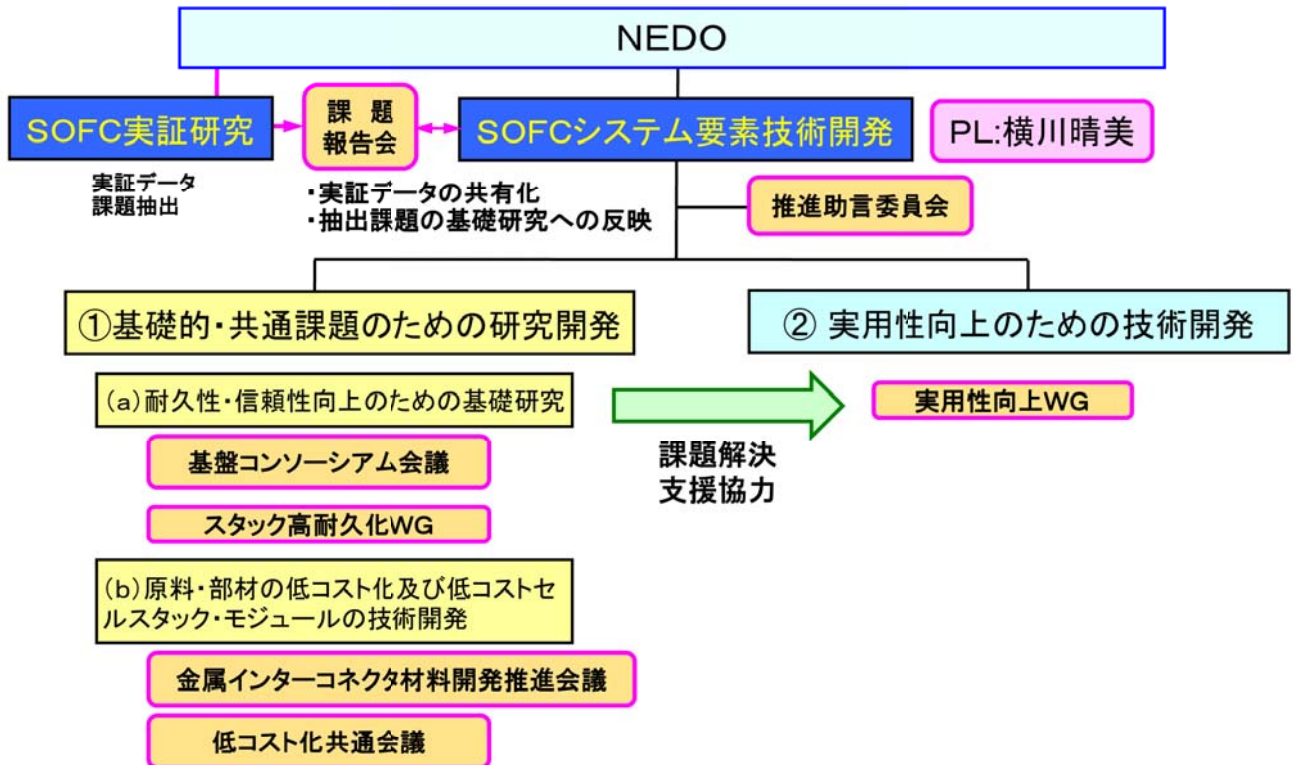
共同研究

研究開発項目② 実用性向上のための技術開発

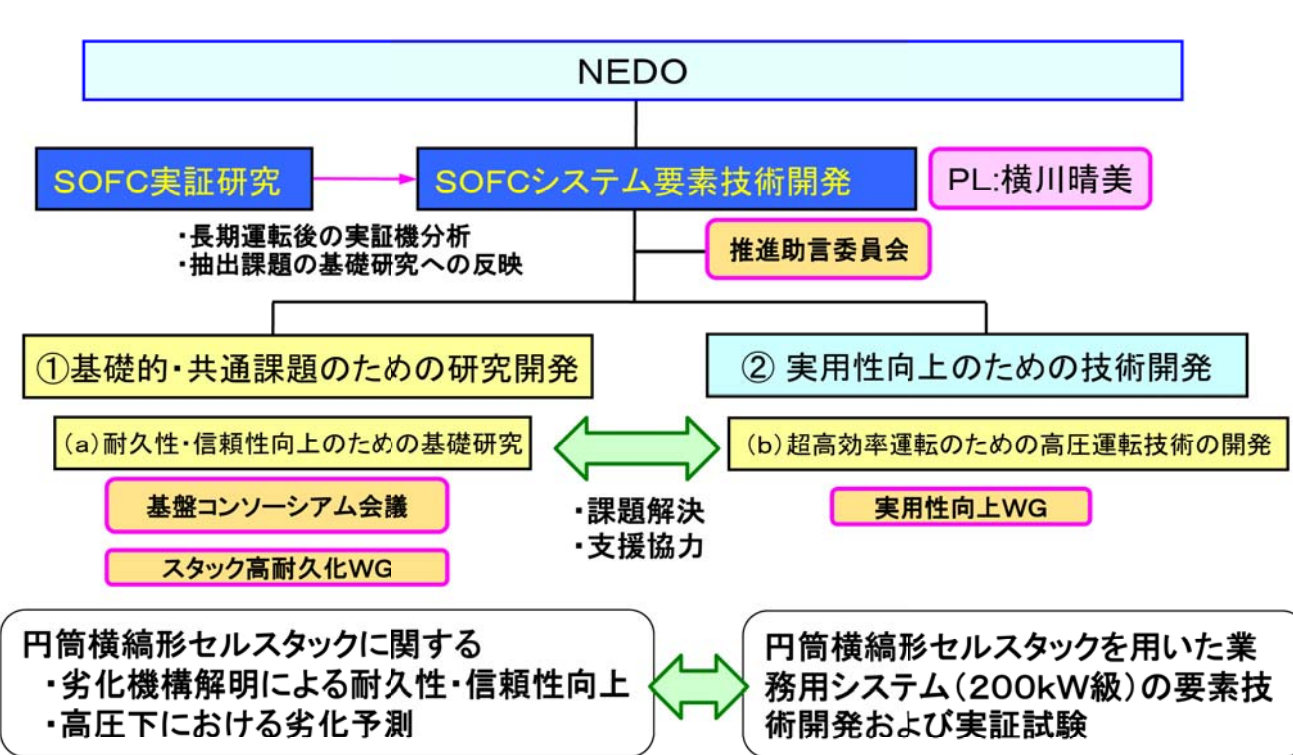
(b) 超高効率運転のための高圧運転技術の開発

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
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】

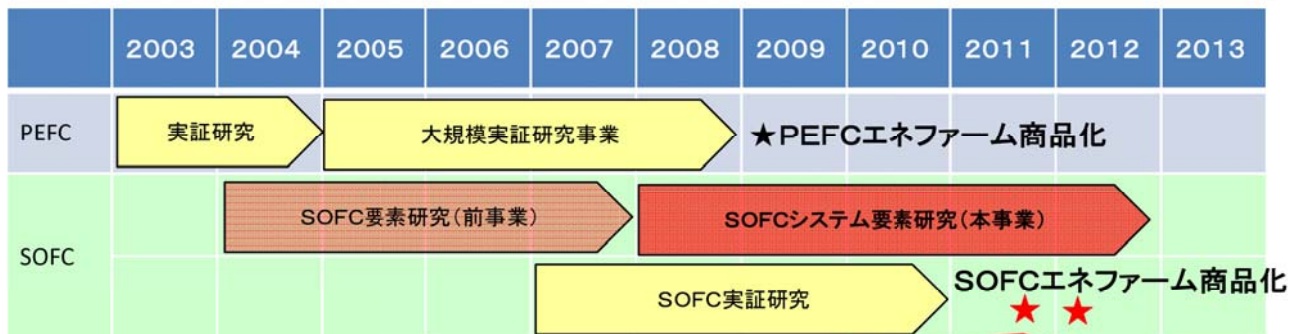
- (1)「SOFC実証研究」において技術実証を完了(2010年度)、「水素社会構築共通基盤整備事業」において規制見直しを完了(2011年度)、国内JIS状況規格制定完了(2011年度)、国際標準化第1版制定(2010年度)など、SOFCの本格普及に向けて技術開発・制度整備を一体的に推進。
- (2)2010年度に「SOFC技術開発ロードマップ」を策定し、市場導入～普及までの技術課題、開発目標仕様等をステークホルダー間で共有。ロードマップは2012年度中に改訂を予定。
- (3)SOFCシステムのユーザとなるエネルギー事業者(ガス、石油、電力会社等)とも開発の方向性や実用化の戦略を議論。

【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)	
(1) スタック信頼性評価		(2) 劣化機構解明、加速劣化方法の確立	
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	
(3) 総括とまとめ(PL, 産総研)			

・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	実証研究供試セルの総数			
				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	10
		都市ガス	TOTO(2kW)	2			

「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

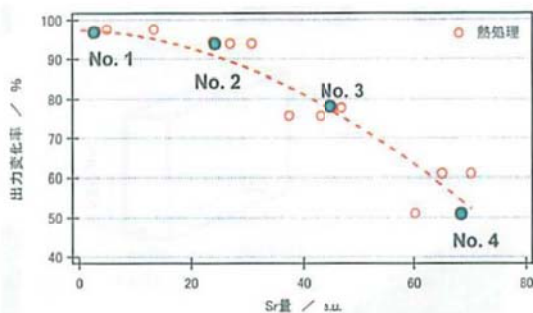
セルメーカー	セルスタック	耐久試験電圧低下率 (%/1000 h)				起動停止後電圧低下率	目標達成度	残された課題
		空気極	燃料極	抵抗分	全体			
筒状平板形 (京セラ)	2008年度機	0.09	0.05	0.12	0.26	120回で0.42%	達成	短時間で長期耐久を見通す評価技術
筒状横縞形 (東京ガス)		0.14 -0.04	0.12 0.12	0.37 0.40	0.63 0.24	100回0.8% (2000h耐久後)	初期劣化をのぞき達成	迅速な10年耐久見通し手法
小型円筒形 (TOTO)	2010年度機 2011年度機	0.6 0.3	0 0	0 0	0.6 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

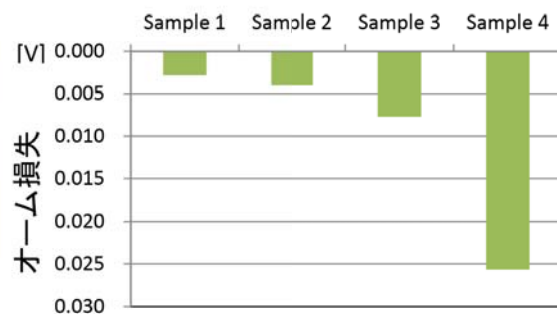
家庭用コジェネレーションシステム(筒状平板形)の着実な改善

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

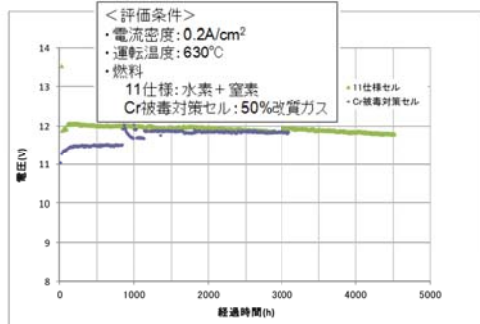


図 スタック連続運転結果

大幅に劣化率向上し、目標達成の見通し。

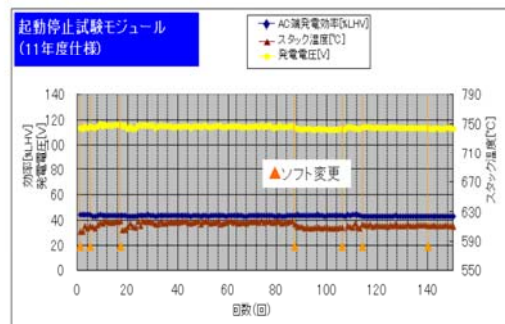


図 モジュールシャットダウン運転結果

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

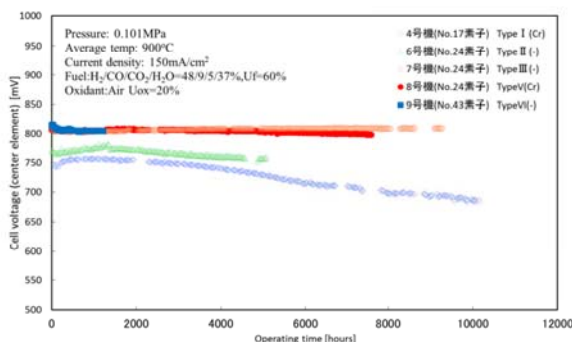
経緯
前Project 3年
本Project 3年(前期)
劣化機構解明が進展
空気極の課題が鮮明

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～

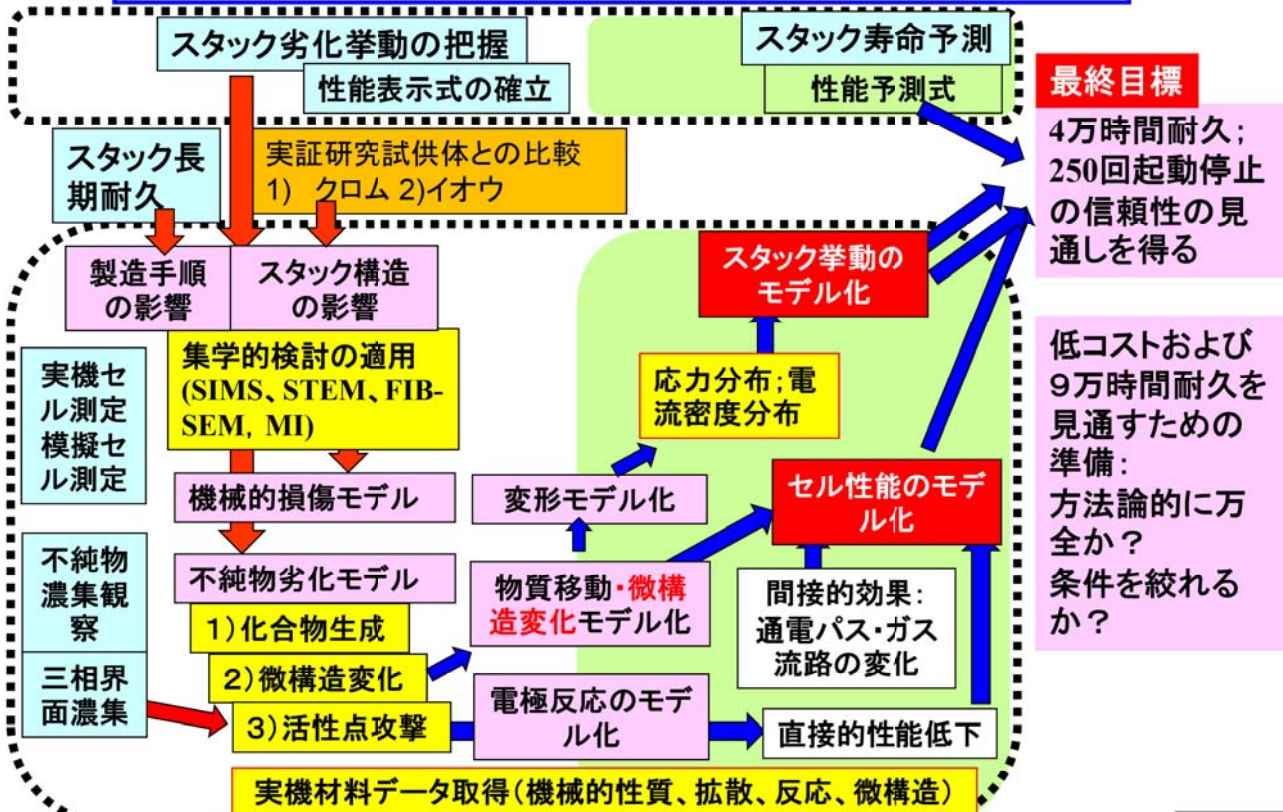
主な劣化現象の機構解明

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	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 ₃ 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

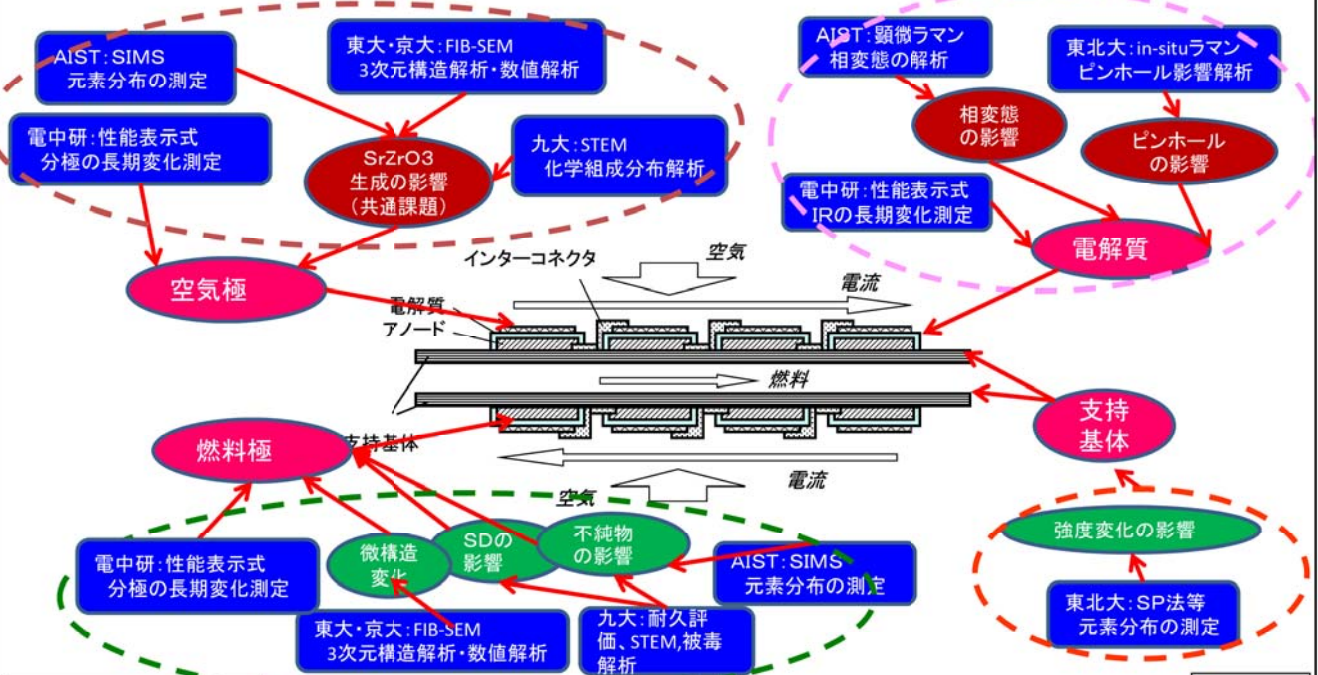
「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」～全体の進捗状況～



・実施者が留意した事項

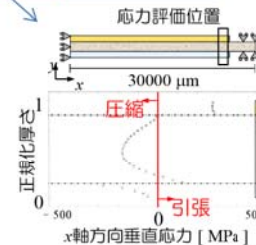
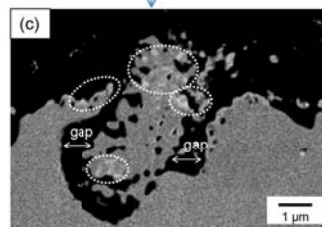
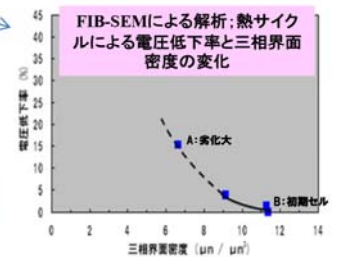
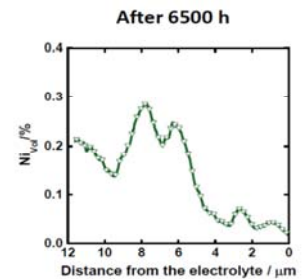
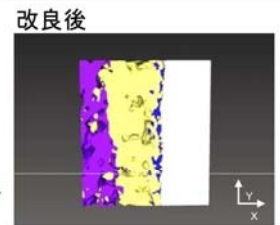
・強力な産官学連携の推進。
 ・基礎的検討手段の高度化・集学的手法の駆使

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

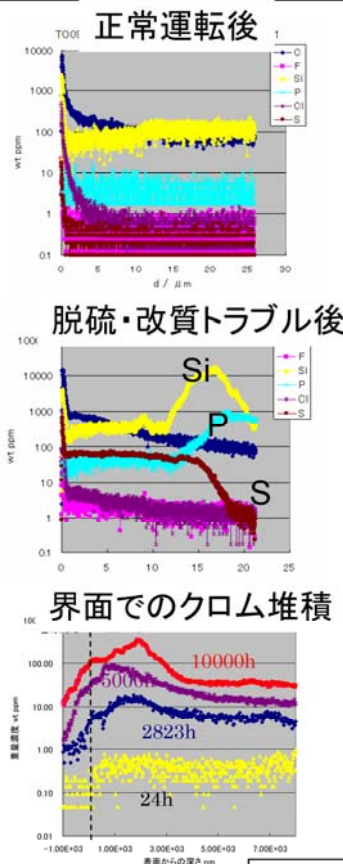
	製造手順	空気極	電解質	燃料極	IC	接続	耐久性現状
筒状平板形 (京セラ)	燃料極支持型	◎ 拡散				○	金属の空気中での使用
筒状横縞形 (東京ガス)	支持体使用 燃料極から	◎ 拡散					リークの克服
円筒縦縞形 (TOTO)	空気極支持型		● 燃料極側	●		△	燃料極側で不純物濃度大、
円形平板形 (MMC, KEPCO)	電解質支持	反応	○	●		○	金属IC; 燃料、空気中での不純物多い
円筒横縞形 (三菱重工業(株))	支持体使用; 燃料極から	◎ 拡散; Cr				△	Cr被毒検出 リークの改善



「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 : 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°C	775-800 °C	750°C	650°C
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				

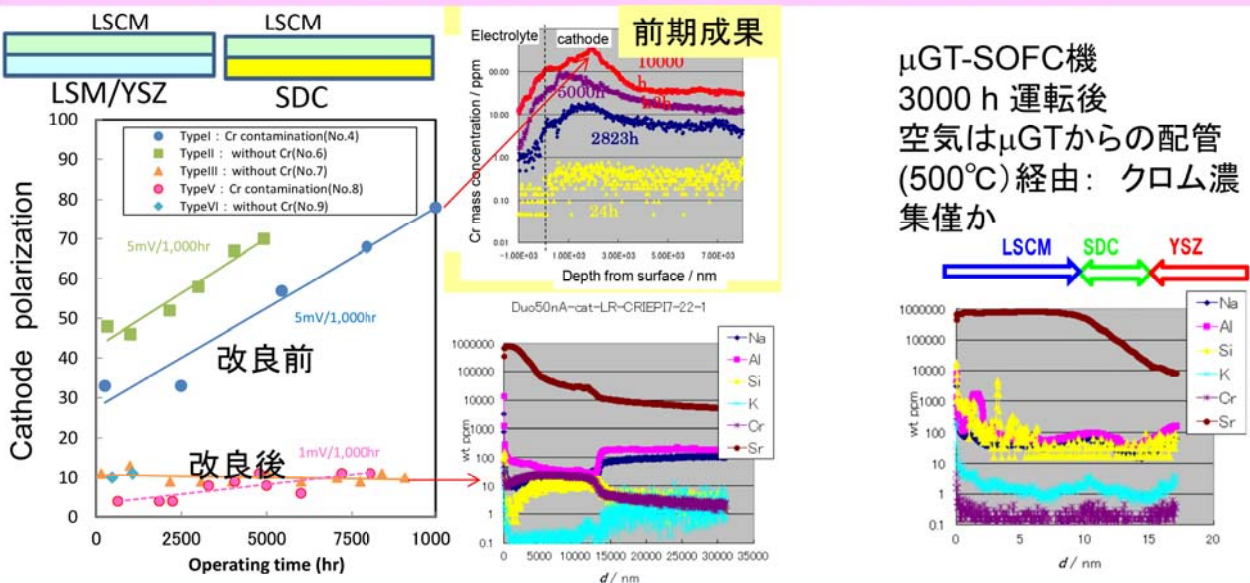
電中研による性能評価のまとめ(2012. 2現在)

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

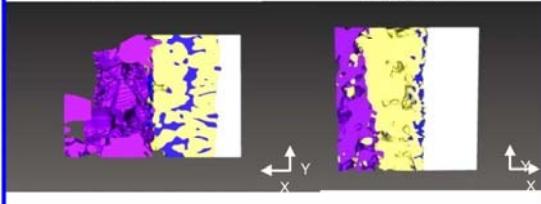


稼働条件(特に過電圧の影響): 前期集学的解析結果から空気極構成を変更した結果大幅な過電圧の低下を実現し、更にクロム堆積・クロム被毒の軽減を同時に実現した。金属製空気配管の使用が、実質的に加速試験として機能していた。

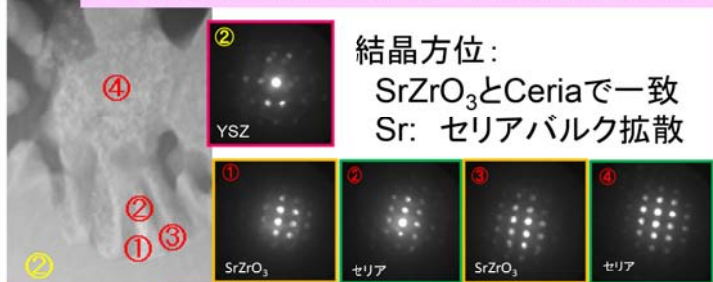
「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」
 ～ 成果 2, SrZrO₃生成 (加速劣化が可能か) ～

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

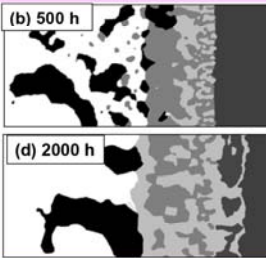
改良前 改良後



九大 硫黄被毒試験セルの電子線回折像



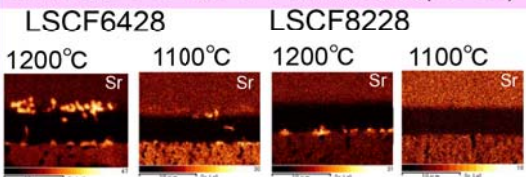
京大・東大・京セラ: 1000℃加速試料の評価



1000℃加熱
 段階的にSrZrO₃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)



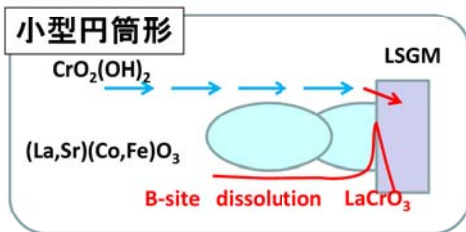
Zr, Srの拡散を確認、温度、組成

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SrZrO₃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。

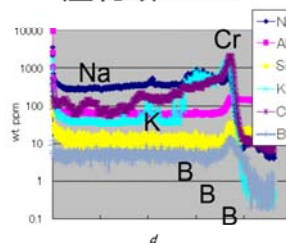
「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」

～ 成果 3, 運転温度依存性～

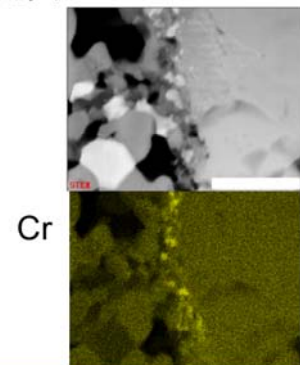
低温における劣化:



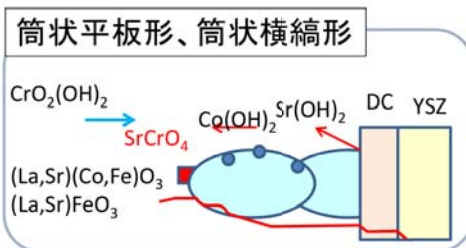
産総研SIMS



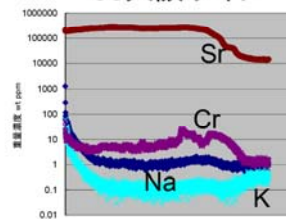
九大STEM



中温Cr被毒



産総研SIMS
 08大阪サイト



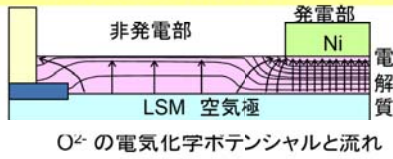
低被毒の理由付け

電極表面でSrCrO₄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



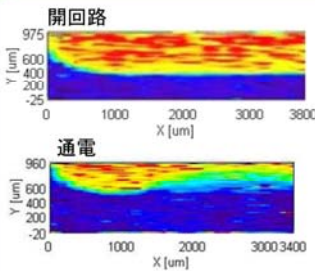
原因: 焼成時固溶したMnが稼働中徐々に燃料側から析出・粉化
 機構: 燃料側が高酸素分圧化+シリカによる核形成助長

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。

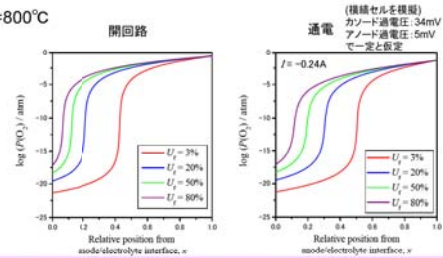
燃料極支持セル=固溶NiOによるYSZ電解質変態の促進&伝導度低下



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)

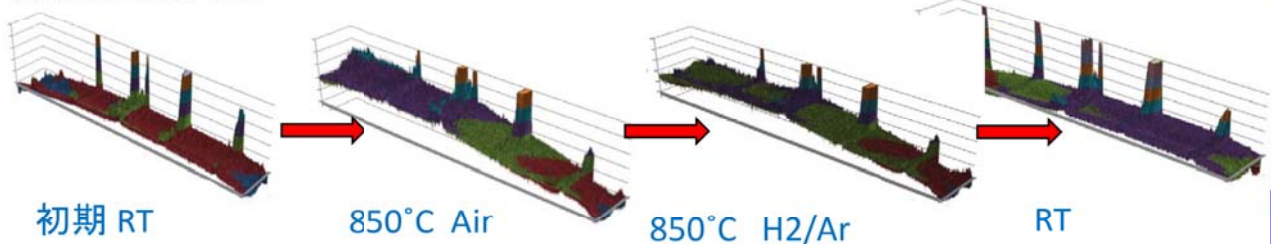
SOFC作動下におけるポテンシャル分布の変化



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～

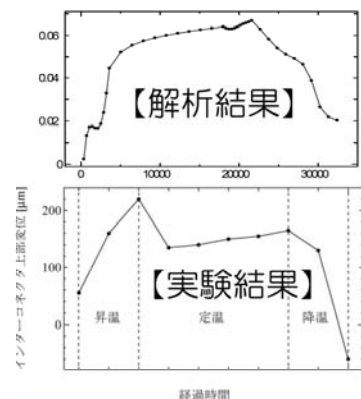
模擬セル変形観測



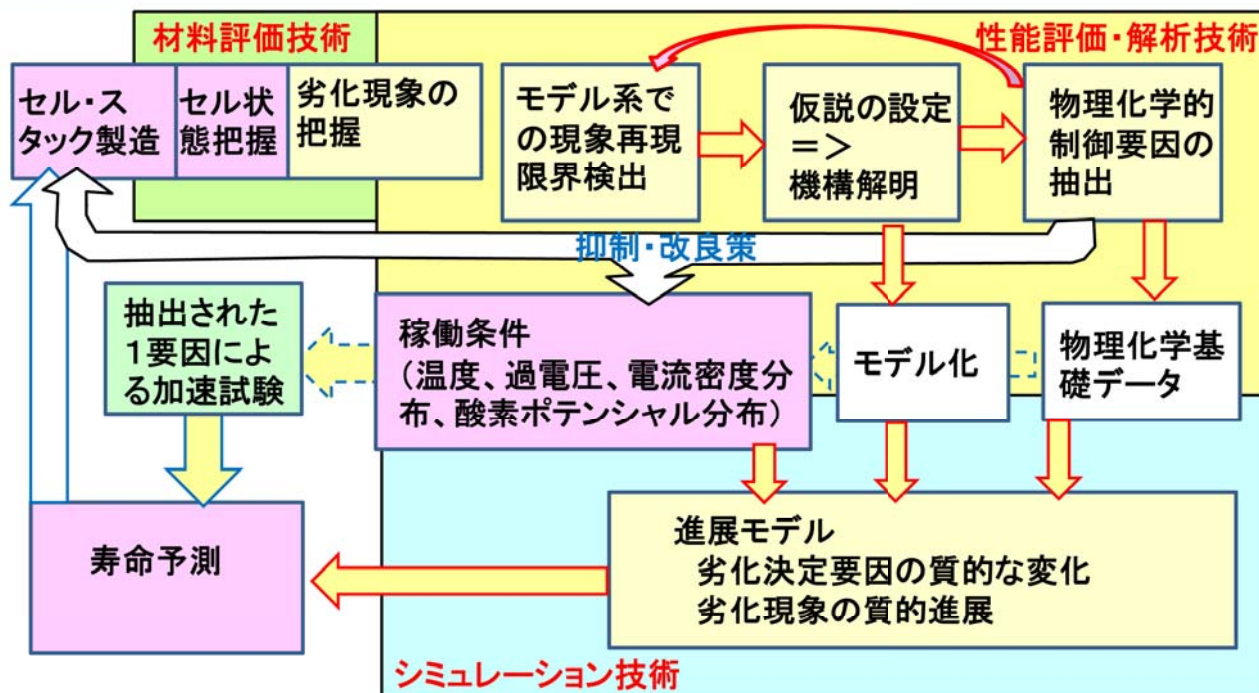
運転条件を考慮したシミュレーションの重要性

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～



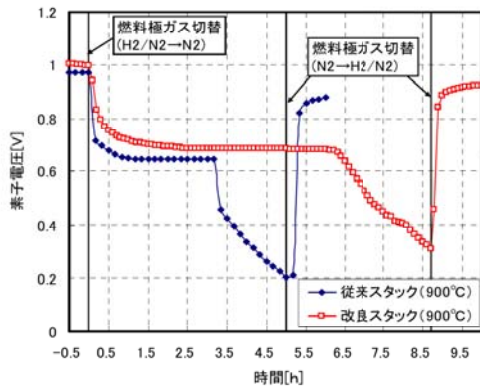
「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」
 ～今後の課題～

- 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。

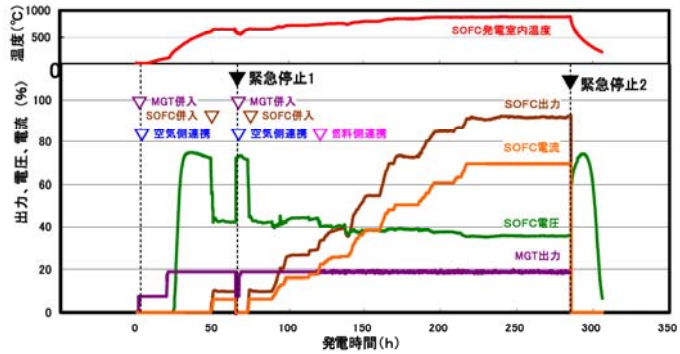
超高効率運転のための高圧運転技術(三菱重工業)前期

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。

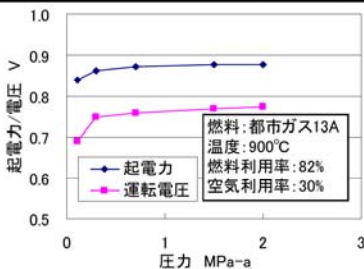


起動・定常運転・緊急停止を実施し、保護インターロックの正常動作を確認した。

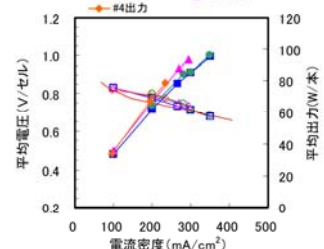
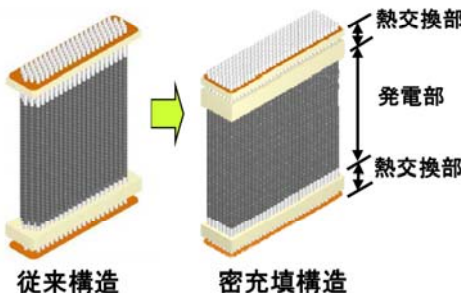
超高効率運転のための高圧運転技術(三菱重工業)後期

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

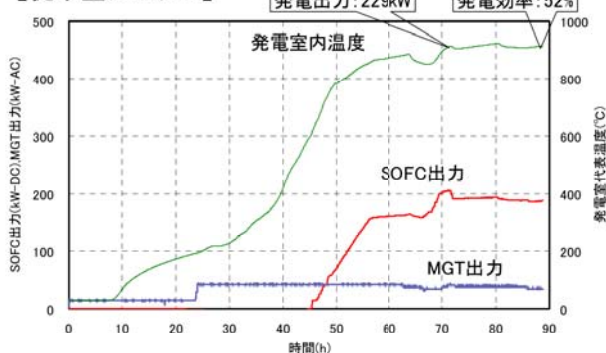


カートリッジ-V特性

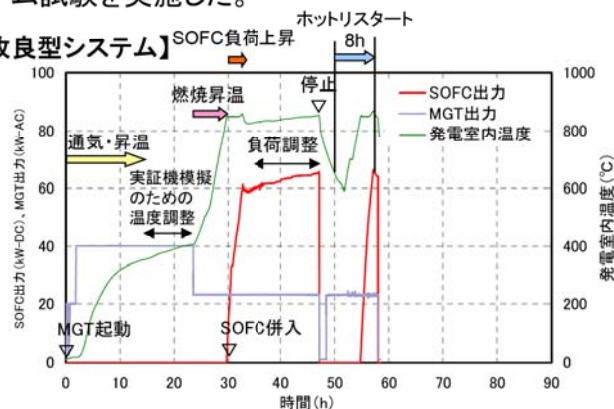
超高効率運転のための高圧運転技術(三菱重工業)後期

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。

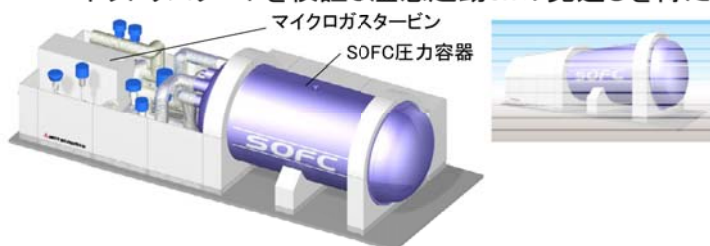
【従来型システム】



【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70m²
(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

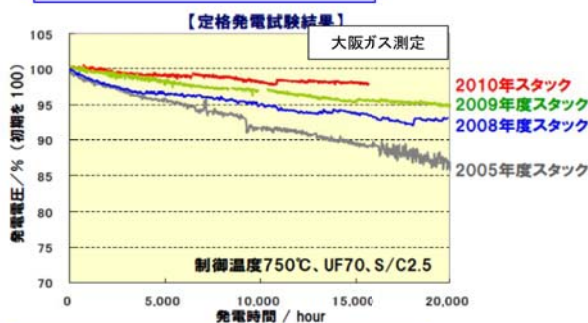
家庭用SOFCコジェネレーションシステムの導入

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)

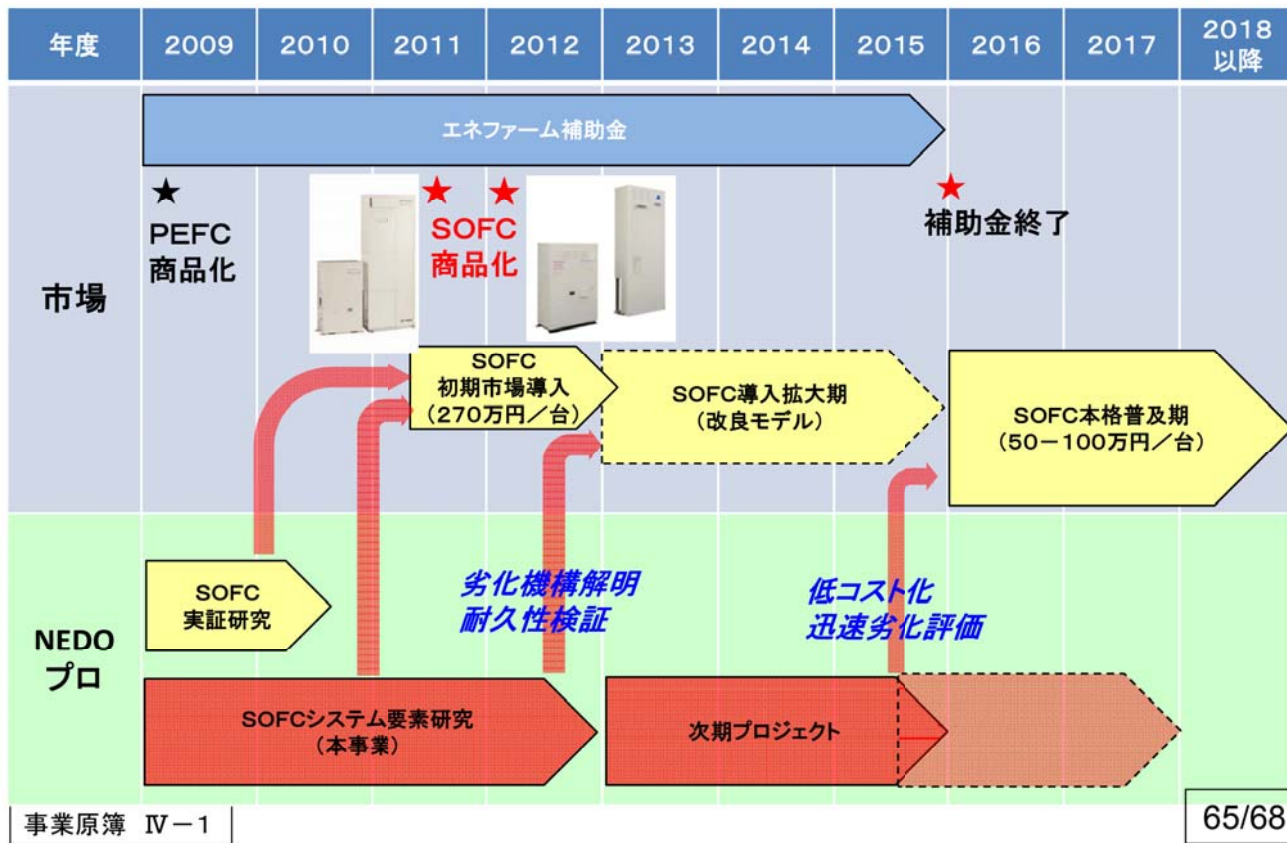
セル接続金属のコーティング手法の改良によりスタックの耐久性が向上。9万時間も見通せるレベルへ。

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)

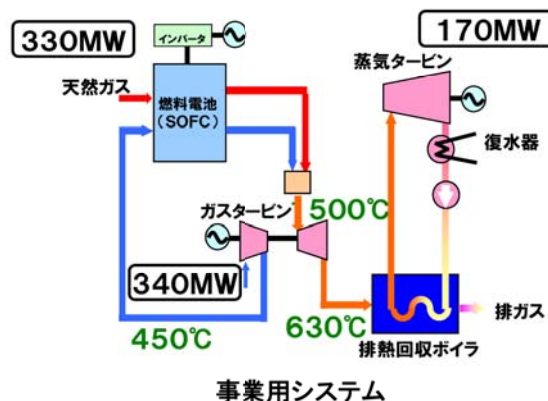
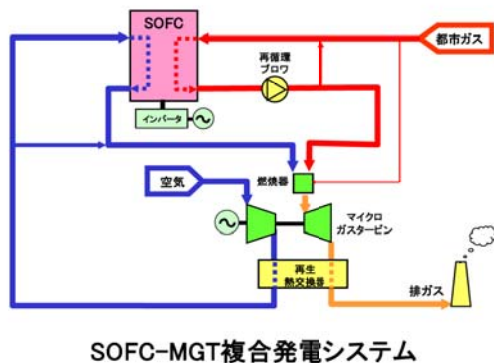
事業化シナリオ 家庭用システム(エネファーム)



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。

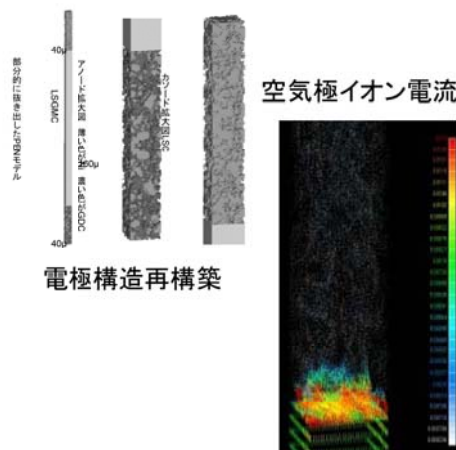


事業化シナリオ 産業用・事業用

	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

