

令和3年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「耐久性の高い低温固体酸化物可逆動作セルのスタック化と小型な
エネルギー循環システムの開発」

研究開発成果等報告書

令和4年5月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 公益財団法人千葉県産業振興センター

目次

第1章 研究開発の概要	P 3
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	P 3
1-2 研究体制	P 9
1-3 成果概要	P 10
1-4 当該研究開発の連絡窓口	P 10
第2章 本論	P 11
1. 低温作動型 SORC の性能と熱衝撃性の向上に対する課題への対応	P 11
2. 低温作動型 SORC のスタック化技術の確立に対する課題への対応	P 14
3. スタック化された低温作動型 SORC を用いた小型なエネルギー循環システムの試作・実証	P 21
最終章 全体総括	P 25
3-1 複数年の研究開発成果	P 25
3-2 アドバイザーによる講評	P 25
3-3 研究開発後の課題	P 25
3-4 事業化展開について	P 26

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

「研究背景」

東日本大震災やそれに続く原発事故及び台風や地震等の自然災害を契機に、防災機能を備えたインフラの一つとして、環境に調和した自然エネルギーを利用できる発電装置のニーズが高まっている。また、それに関連した太陽光発電施設の急速な増加に伴い、蓄電と系統電力網への送電ができないため、電力の出力抑制をしなければならず、太陽光発電などを平準化する整備が急務となっている。

大型で充放電効率の高い蓄電設備は高価であり、蓄電池（二次電池）の寿命も限られるため、蓄電に伴うコストが高く、導入が進んでいない。

これらの問題の解決において、電解による水素製造による蓄エネの導入が検討されているが、再生可能エネルギーを対象とすると稼働率の関係から水素の製造コストが高くなる。

一方、水素の製造において理論電解効率が高い高温電解技術の応用が検討されているが、高温電解セルと固体酸化燃料電池は類似の材料を用いることから、発電と電解を行うことが可能な可逆動作セルは、余剰電力が無い時は、発電を行うことで、ほぼ100%の稼働を実現でき、待機によるコスト増を抑制できる。そのため、研究例が限られている低温作動型固体酸化可逆動作セル(SORC)「図2」を用いたエネルギー効率の高い部材の実用化が求められている。また、災害時に安価で長期間安定的に電力・熱・水・水素を貯蔵・供給できる小型なエネルギー循環システム(図1:電気(再生可能エネルギーなど利用)①・熱・水③(飲料水、洗浄水、水蒸気)・水素④(蓄電)・温水⑦・電気⑥(電力供給)が求められている。具体的には再生可能エネルギー+余剰電力及び水などを用いて電気と水を確保し、その水を生成して水素を製造・貯蔵し、必要に応じて水(飲料水・温水・洗浄水)や電力・水素などを供給する。

非常時・継続的に電力を供給する防災用電源は、全国1718自治体の各種庁舎や避難所、あるいは病院で必要とされている。しかし現状は、重油や軽油を燃料とする発電機を利用して4~6時間の電源供給可能なものが一般的であり、災害などでライフラインが止まった場合でも72時間以上継続して利用できる安価で小型な装置は存在していない。また、水(飲料水、洗浄水)と温水の確保についても大きな課題を抱えている。

さらに、低温作動型固体酸化可逆動作セル(SORC)を用いた小型なエネルギー循環システムは、今後積極的な活用が期待される燃料電池自動車などへ供給する水素ステーションとしても利用でき、これらを合わせると国内だけでも5万~6万台程度の需要が見込まれる。従って、SORCの潜在的ニーズは非常に大きいと考えられ、エネルギー効率の向上と実用化は重要な課題である。

【従来技術の問題点】

高効率なSORCを利用した水素製造装置及び燃料電池の開発を促進するために、より低温(500℃程度)で運用可能なSORCの実用化が望まれている。しかし、電極の劣化や、低温域における酸素イオン電導率が不十分であり、作動温度が高くなることと、長期劣化率がまだ十分でなく、実用化の上での課題になっている。水素ステーションを提供している東芝エネルギーシステムズ株式会社などからは上記の課題が解決できれば導入したいとの強い要望を頂いている。加えて大手ゼネコンや商社から、再生可能エネルギー+余剰電力等をエ



図1 小型なエネルギー循環システム

そのため、研究例が限られている低温作動型固体酸化可逆動作セル(SORC)「図2」を用いたエネルギー

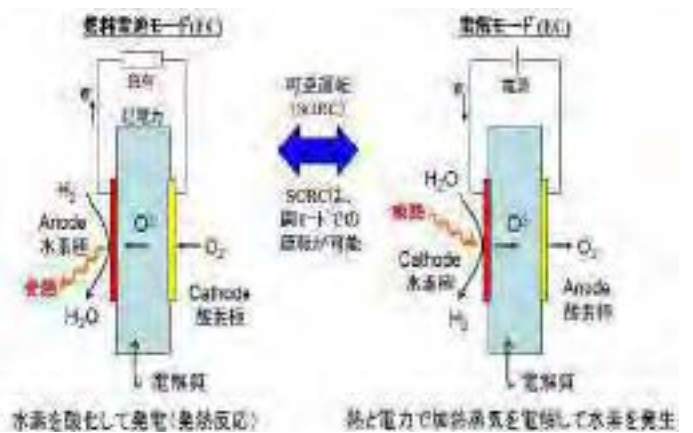


図2 低温作動型固体酸化可逆動作セルの動作原理

エネルギー源として水素を製造・貯蔵し、非常時にこれを利用して継続的にライフライン（電気・熱・水（温水、洗浄水、飲料水）・水素等）が供給できる小型なエネルギー循環システムの開発の要望をいただいているが、現在、全ての機能を実現している安価な小型な装置はない。特に可逆動作可能な装置は無い。

【研究開発動向】

(1) 当該分野の研究開発動向

固体酸化物形燃料電池（SOFC）は各層を構成する材料の安定性と共に構成材料間の両立性（相互反応性の低さや熱膨張挙動の一致等）が求められ、材料選択の制約が厳しく高効率な複合材料開発に課題を抱えている。

燃料電池用の SOFC については、高温反応型（800℃）の YSZ 系固体酸化物電解質を用いたものが実用化されており、電解質層の薄膜化による酸素イオン伝導抵抗の低減等により効率向上が図られている。

現在は高効率に水素・電気を取り出すための研究、（低温域における SORC の効率向上）については、九州大学、山梨大学、大阪府立大学等で、研究が行われている。特に近年、九州大学石原教授によるランタンガレート（LaGaO₃）系電解質の発見により、低温作動化の研究が加速している。他に低温で良好な酸素イオン導電率を示す材料としては、Sc 安定化ジルコニア（ScSZ）、ガドリウムドープセリア（GDC）等がある。しかし、共通的に電解質材料自体の特性と共に、電極材料との反応による性能劣化の課題を抱えている。

低温作動型固体酸化物可逆動作セル（SORC）で水素製造や燃料電池（発電）として実用化する場合、安定的に水素を製造するためには複数のセルを組合せてスタックを形成することが必要となっている。再生可能エネルギーをエネルギー源として水素を製造する技術としては、光触媒による方法が研究されているが、太陽光から水素への変換効率は 2%程度である。また、太陽光発電と系統電力を併用して水電解により水素製造を行う本田技研と岩谷産業の SHS の変換効率は、3.4%であると推定される。水素蓄電システムとしては、東芝エネルギーシステムズ株式会社が、SORC（SOFC/SOEC）を用いた「H₂Omega」の開発をし、展示会や論文で発表しており、運転温度 800℃で充放電効率 80%を目指すとしている。防災用自立型水素蓄電システムについては、東芝エネルギーシステムズ株式会社が、「自立型水素エネルギー供給システム H₂One（エイチツーワン）」を開発し、川崎市にて実証試験を行っているが、太陽光から水素への水素電解効率は 40%前後であると推測され、エネルギー変換効率が課題になっている。

(2) これまでの取組

固体酸化物電解質の世界的権威である九州大学石原研究室では、世界最高レベルの性能を持つ SORC の研究が行われており、研究体制が充実している。また、産学協力の実績も豊富で、数々の成果（特許や商品）を生み出しており、現在は金属基板を用いる強靱化セルの開発を行っている。

また、エネルギーの電力化が加速する中、産業技術総合研究所 省エネルギー研究部門は高温作動のエネルギー変換デバイスに注目し、種々の燃料を効率的に電力に変換する固体酸化物形燃料電池（SOFC）、再エネ等の余剰電力を高効率かつ高付加価値な燃料に変換する固体酸化物形電解セル（SOEC）に注力し、研究開発を実施してきた「図 3」。特に SOFC の耐久性・信頼性向上や規格基準化に対する取り組みでは、企業や大学と連携し、公共研究機関として主要な役割を担ってきた。今後も更なる高効率エネルギー変換デバイスについて、材料からシステム・検証まで総合的に研究開発を実施している。

特殊技研金属(株)は、太陽追尾技術を利用したソーラーパネル全自動追尾式蓄電システム「SB シリーズ」「図 4」投光型採光システム「トクテック SUN シリーズ」を開発し、製造・販売するとともに、トップライト事業で培った、防雨構造や駆動装置、センサーに連動した制御技術等を活かして「究極の完全 ECO 環境システム」を目指し研究開発を続けている。

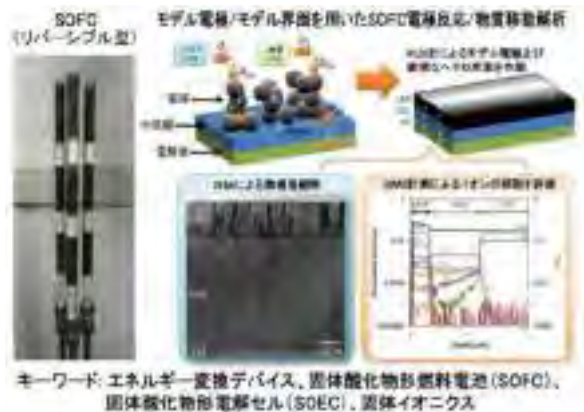


図 3 固体酸化物形セル



図 4 太陽追尾蓄電システム

また、国内シェアトップクラスのトップライト「図5」に用いる金属材料の表面処理のノウハウを応用して、低温(500℃作動)作動型SORCセルの開発に九州大学と共同で取り組み、平成29年3月には低温(500℃程度)作動型SORCを開発し、水素発生、発電に成功している。これらの技術を応用して、自立型循環システムの研究を進めている。「図6」低温で動作するSORCセルは完成したが実用化にはエネルギー効率を維持したまま耐久性を向上させることとスタック化に課題が残っている。



図5 トップライト



図6 自立型循環システム(開発中)

本事業に関する特許

【特許権等の概要】

九州大学と特殊技研金属㈱は、平成28年に今回の開発に関連する3件の特許を共同で取得した。

- ・特許 第6042385:「太陽光を利用した自動車用水素燃料供給器と電気自動車用充電器を備えた独立型のエネルギー供給施設」(国際特許も出願中:PCT/JP2015/053048)
- ・特許 第5989036:「太陽光の集光パネル」
- ・特許 第6042375:「太陽光エネルギーを利用した集光熱ボイラー装置」

国立研究開発法人 産業技術総合研究所


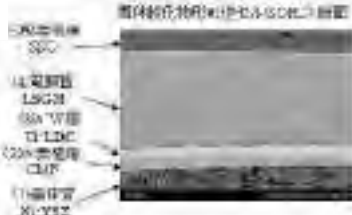
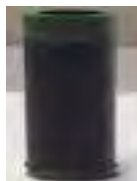
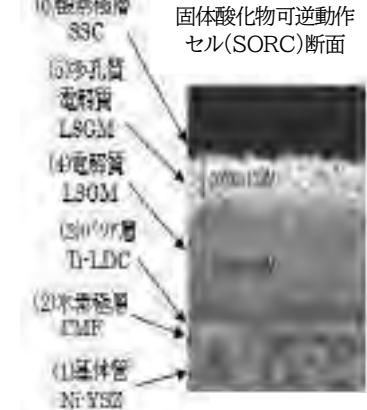



- ・特許 第58545222:「接着剤構成物」(導電性シール材)
役割:災害時のライフラインを供給する小型なエネルギー循環システムの構築

「研究目的及び目標」

○目的

近年、台風や地震等の自然災害時の電気・水等の確保と供給の必要性が高まっている。その社会的な課題を解決するために太陽光のみをエネルギー源に水を電解して水素を製造・貯蔵し、非常時に燃料電池で電力を供給できる小型なエネルギー循環システムを開発し、災害に強く環境にやさしい社会の構築に貢献する。また、その水素製造に用いる耐久性が高く、かつ高効率なスタック化された低温作動型固体酸化物可逆動作セルを開発する。

○従来技術と新技術の比較

従来技術①との比較:水素製造に用いられる固体酸化物形電解セル (SOEC)	
従来技術	新技術
 <p>平板セル</p>  <p>従来のセル材料の層構成</p>  <p>円筒管セル</p>	 <p>固体酸化物可逆動作セル(SORC)断面</p> <p>酸素表面の多孔質化</p>  <p>スタック化</p>
<p>従来技術の課題</p> <p>①現在のセル材料の層構成である(1) 基本管 (Ni-YSZ) と(2) 水素極層 (CMF) 及び(3) バリア層 (Ti-LDC) の熱膨張係数が合っていないため性能 (40%) が上がらない。また、(4) 電解質 (LSGM) の表面が多孔質化されていないため、熱衝撃性が向上出来ない。</p> <p>②現状の使用されている平板セルは円筒セルに比べて、エネルギー変換効率が低い (3.3L/h)、また、現在、開発中の円筒管セルもスタック化されておらず水素発生容量が少ない。</p>	<p>新技術の特長</p> <p>①新しいセル材料の層構成である(1) 基本管 (Ni-YSZ) と(2) 水素極層 (CMF) 及び(3) バリア層 (Ti-LDC) の熱膨張係数を合わせることで性能を上げる (80%)。また、(5) 電解質 (LSGM) 表面を多孔質化することで熱衝撃性が向上出来る。</p> <p>②円筒管セルをスタック化することで水素発生容量が多い。(3.3L/h→28L/h)</p>
従来技術②との比較:ライフライン供給システム	
従来技術 個別のライフライン供給	新技術 小型なエネルギー循環システム
 <p>単独でのシステムは存在するが全体をまとめた小型な自立型循環システムは実用化していない。</p>	 <p>再生可能エネルギー①を活用し、制御・②蓄電装置を中心に③水生成→④水素製造・貯蔵→⑥燃料電池→電力供給と循環するシステムを構築する</p> <p>災害時ライフラインの供給</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 電気 2. 飲料水 3. 温水 4. 洗浄水 5. 熱 6. 水素
<p>従来技術の課題:</p> <p>③個別にライフライン供給 (飲料水、温水、洗浄水、水素、電気) できる設備は大型でエネルギー効率が低く高価であり、災害時にライフラインの供給ができる統合システムは実用化されていない。</p>	<p>新技術の特長:</p> <p>③小型な自立型エネルギー循環システムを構築することでエネルギー効率が高く安価で災害時のライフライン供給 (飲料水、温水、洗浄水、水素、電気) が実用可能となる。</p>

○新技術を実現するために解決すべき研究課題

(九) 複合・新機能材料に係る技術に関する事項

- 1 複合・新機能材料に係る技術において達成すべき高度化目標
 - (4) 川下分野特有の事項
 - 2) 環境・エネルギー分野に関する事項
 - ①川下製造業者等の特有の課題及びニーズ
 - ア. エネルギー効率を高める部素材の開発

1. 低温作動型 SORC の性能と熱衝撃性の向上に対する課題

低温作動型 SORC の性能を安定させるためには、性能と熱衝撃性を向上する必要がある。現状、長時間の連続稼働を行うと性能が低下し、場合によっては最外層の剥離が起こる可能性があり、実用化のレベルには達していない。

2. 低温作動型 SORC のスタック化技術の確立に対する課題

低温作動型 SORC を使って水素製造を実用化するためには、セルをスタック化する必要がある。現状、スタック化するにはホルダー・インターコネクタ・マニホールドとシール材を使い、単セルを接続する必要があるが接続部でガス漏れ、及び抵抗値の問題等が発生し、スタック化されたセルの性能が低下する問題があり、実用化のレベルには達していない。

3. スタック化された低温作動型 SORC を用いた小型なエネルギー循環システムの試作・実証

災害時に利用できるライフライン（飲料水、温水、洗浄水、水素、電気）を確保できる小型エネルギー循環システムが必要とされている。それを実現するためにはエネルギー変換効率が高い小型なシステム統合が必要である。現状、それぞれの機能（飲料水、温水、洗浄水、水素、電気）が大型であり、コストが高くなっている。また、エネルギー変換効率も悪いという問題があり、実用化には至っていない。

「研究開発の高度化目標と実施結果」

○高度化目標

(九) 複合・新機能材料に係る技術に関する事項

- 1 複合・新機能材料に係る技術において達成すべき高度化目標
 - (4) 川下分野特有の事項
 - 2) 環境・エネルギー分野に関する事項
 - ②高度化目標
 - ウ. 電磁気的特性、熱・機械的特性、エネルギー変換効率の向上

従来の製品と比較しても高効率なスタック化された低温作動型固体酸化物可逆動作セル (SORC) を開発する。現状の固体酸化物可逆動作セル (SORC) 構成材料の水素極層 (CMF) やバリア層 (Ti-LDC) の熱膨張係数を合わせ性能の向上（電解効率 40%→80%）を図り、スタック化することにより、さらにエネルギー変換効率を向上させる。また、酸素極層 (SSC) の剥離の抑制を行うための電解質 (LSGM) の表面を多孔質化させ熱衝撃性の向上を行い、実用化を行う。上記のスタック化された低温作動型 SORC を用いて、再生可能エネルギーなどと水を利用して、飲料水、温水、洗浄水、水素、電気を製造・貯蔵し、必要に応じて生成された水と電気、熱、水素で発電することにより、水素製造容量 (3.3L/h→28L/h) を向上させる。

【実施結果】

下記の技術目標を達成することで当初の目標を達成した。

1. 低温作動型 SORC の性能と熱衝撃性の向上に対する課題への対応

現在、開発中の低温作動型 SORC は従来の平板セル（電解効率 40%）よりは性能（電解効率 70%）は向上出来ているが、実用化するためにはより一層の性能向上と熱衝撃性向上が必要とされている。これを下記の 1-1~1-3 の達成により、安定的かつ高効率に水素（電解効率 80%）を製造できるようにした。

1-1 低温作動型 SORC の性能向上への対応

(1) 基本管 (Ni-YSZ)、(2) 水素極層 (CMF)、(3) バリア層 (Ti-LDC) の熱膨張率係数（線膨張率 $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ）の収縮率を 13%~15% に合わせ、電解効率 80% を達成した。また、電気抵抗の低減を実現するために (4) 電解質 (LSGM) を薄膜化した (50 μm →30 μm)。

1-2 低温作動型 SORC の熱衝撃性向上への対応

熱衝撃性を向上させるために電解質の気孔率を 20% アップと CMF の量を 20 g~4g の範囲で減らし、下記の熱サイクル試験 [表 1] をクリアできる低温作動型 SORC を製作した。

表 1 熱サイクル試験

サブテーマ	<<SORC 耐久試験>>	単体の SORC	スタック化 SORC	備考
1-3/2-2	熱サイクル試験	5 サイクル	5 サイクル	600°C~200°C 10°C/min 降温・昇温

1-3 低温作動型 SORC の性能評価

単体の低温作動型 SORC に対する性能評価方法を確立し、それに沿った性能評価を行うことで下記の性能目標[表 2]を概ね達成した。

表 2 単体の低温作動型 SORC 性能目標

サブテーマ	<<SORC 試験・評価>>	従来	単体の SORC	備考
1-3	負圧 100kPa リーク試験	-	80kPa 以上	30 分以上
1-3	電気的特性/運転温度	800°C	500°C	運転温度
1-3	電気的特性/定格電圧	-	1.5V	
1-3	電気的特性/電流密度	-	0.3A/cm ²	基準温度・電圧にて
1-3	電気的特性/定格電流	-	1.884956A	
1-3	電気的特性/定格電力	-	2.827433W	
1-3	電気的特性/水素発生量	-	0.7787L/h	
1-3	電気的特性/水蒸気電解効率	40%	80%	変電ロス等含まず
1-3	酸化還元の耐久性	-	100 回以上	起動・運転・停止によるクラック等無し

2. 低温作動型 SORC のスタック化技術の確立に対する課題への対応

現状の低温作動型 SORC はスタック化されておらず、スタック化製作プロセスと性能評価方法が確立できていない。これを下記の 2-1、2-2 の達成により、低温作動型 SORC のスタック化技術を確立した。

2-1 スタック化された低温作動型 SORC の開発

低温作動型 SORC のスタック化のスタック化製作プロセスを確立し、それに沿ってスタック化モジュールを完成させた。

2-2 スタック化された低温作動型 SORC の性能評価

スタック化された低温作動型 SORC の性能評価方法を確立し、それに沿った性能評価を行うことで下記の性能目標[表 3]を概ね達成した。

表 3 スタック化された低温作動型 SORC の性能目標

サブテーマ	<<SORC 試験・評価>>	従来	スタック化 SORC	備考
2-2	正圧 10kPa 試験	-	8kPa 以上	5 分以上
2-2	エタノール浸漬試験	-	漏れ部無き事	
2-2	電気的特性/運転温度	800°C	500°C	運転温度
2-2	電気的特性/定格電圧	-	1.5V	
2-2	電気的特性/電流密度	-	0.3A/cm ²	基準温度・電圧にて
2-2	電気的特性/定格電流	-	67.8584A	
2-2	電気的特性/定格電力	-	101.7876W	
2-2	電気的特性/水素発生量	3.3 L/h	28.3578 L/h	
2-2	電気的特性/水蒸気電解効率	40%	80%	変電ロス等含まず
2-2	酸化還元の耐久性	-	100 回以上	起動・運転・停止によるクラック等無し

3. スタック化された低温作動型 SORC を用いた小型なエネルギー循環システムの試作・実証

太陽光などの再生可能エネルギーを無駄なく効率的に貯蔵出来ない課題がある。これを下記の 3-1、3-2 の達成により、無駄なく蓄電・発電できることを立証した。

3-1 スタック化された低温作動型 SORC を用いた水素製造装置の試作・検証

スタック化された低温作動型 SORC を用いた水素製造装置の設計・試作・性能評価[表 4]を行うことで従来技術よりも効率的に水素が製造できることを立証した。

表 4 水素製造装置の性能評価

水素製造装置の性能	従来	今回の開発	備考
水素発生量[L/h]	3.3 L/h	28 L/h	スタック化セル 100W 入力、500°C

3-2 小型なエネルギー循環システムの実証試験

小型なエネルギー循環システムを開発し、屋外に設置し、小型なエネルギー循環システムの連続運転[表 5]を行うことで太陽光発電（蓄電含む）などの再生可能エネルギーを無駄なく、効率的に水素が製造でき、災害時などに必要に応じて使用できることを実証した。

表 5 小型なエネルギー循環システムの連続運転

小型なエネルギー循環システム	従来	今回	備考
連続運転	-	1 か月	100W 出力で実証、耐久性の確認を実施
非常時連続給電時間[h]	72h	72 h	100W 給電

1-2 研究体制

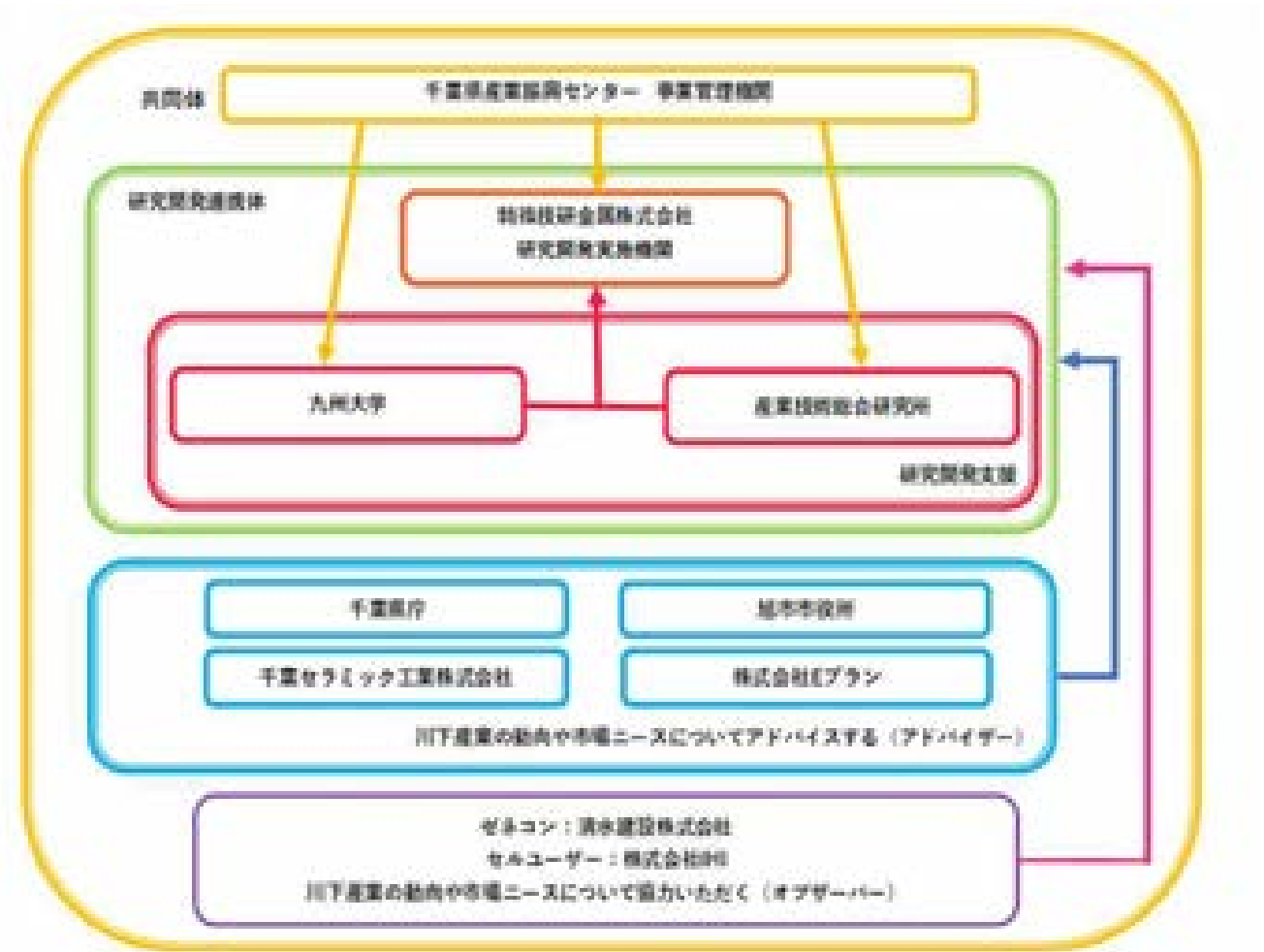


図 7 研究体制図

【体制及び役割分担】

表 6 体制及び役割分担

役割分担	
番号	①名称、②代表者名 ③研究開発責任者・担当者 ④具体的な役割内容 (対応する研究項目 (サブテーマ) 番号)
1	①公益財団法人千葉県産業振興センター ②理事長 葉岡部 循一 ③研究責任者・氏名：産学連携推進室 調査役 新田 國浩、研究開発コーディネーター 芦名 秀幸 ④事業管理機関として研究開発計画等の運営管理等や国との総合的な連絡窓口を行う。
2	①特殊技研金属株式会社 ②代表取締役 山佳 由紀 ③研究責任者・氏名：研究開発室 リーダー 平田 昌久 ④本事業全般に関する、設計・材料特性解析・強度試験・試作開発、実証実験、検証評価及び販路開拓を担当する。 【1-1, 2, 3】【2-1, 2】【3-1, 2】 総括研究代表者 (PL) として研究開発の計画、実施及び研究成果管理を総括する。
3	①国立大学法人九州大学 ②総長 石橋 達朗 ③研究責任者・氏名：教授 石原 達己 ④設計・材料特性解析・試作開発・実証試験指導を担当する。【1-1, 2, 3】【2-1, 2】【3-1, 2】 PLを補佐し、必要に応じて代理を務める。(SL)

4	①国立研究開発法人産業技術総合研究所 ②理事長 石村 和彦	③研究責任者・氏名：省エネルギー研究部門 電機システムグループ 総括研究主幹 嘉藤 徹
	④設計指導・材料特性解析指導・性能検証・実証試験指導を担当する。【1-3】【2-1, 2】【3-1, 2】	
5	①千葉県 ②知事 熊谷 俊人	③担当者・氏名：千葉県商工労働部産業振興課 産業・新エネルギー企画室 室長 曾田 哲也
	④ 事業化及び連携のアドバイス及び自治体としてのニーズについてアドバイスをしていただく。	
6	①千葉県旭市 ②市長 米本 弥一郎	③担当者・氏名：副市長 飯島 茂
	④事業化及び連携のアドバイスならび自治体としてのニーズについてアドバイスをしていただく。	
7	①株式会社Eプラン ②代表取締役社長 松澤 民男	③担当者・氏名：代表取締役 松澤 民男
	④水生成技術のアドバイスをいただく。	
8	①千葉セラミック工業株式会社 ②代表取締役社長 森 雄一郎	③担当者・氏名：営業部 営業副部長 蒲田 聡士
	④セラミック基体の製造・焼成方法のアドバイスをいただく。	

1-3 成果概要

1. 低温作動型 SORC の性能と熱衝撃性の向上に対する課題への対応

低温作動型 SORC の性能については、セル材料の層構成 ((1) 基体管 (Ni-YSZ)、(2) 水素極層 (CMF)、(3) バリア層 (Ti-LDC)、(4) 電解質 (LSGM)、(6) 酸素極層 (SSC)) の粒度の調整によるところが大きい。その中でも (1) 基体管 (Ni-YSZ)、(2) 水素極層 (CMF)、(3) バリア層 (Ti-LDC) の熱膨張率係数 (線膨張率 $11 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) の最適化を行うことで性能を向上させた。また、最外層である (6) 酸素極層 (SSC) の剥離の抑制をする為に (5) 電解質 (LSGM) の表面を多孔質化する事で熱衝撃性の向上を行った。

2. 低温作動型 SORC のスタック化技術の確立に対する課題への対応

高性能な低温作動型 SORC をスタック化することで、高効率な水素製造を実現した。具体的にはテーマ 1 で作成した低温作動型 SORC にホルダー・インターコネクタ・マニホールド・シール材を用いて接続し、スタック化された低温作動型 SORC を試作しその性能を評価して性能の向上を図った。現在のスタック化の規模が小さいので、本数を増やす試作・性能評価は継続している。

3. スタック化された低温作動型 SORC を用いた小型なエネルギー循環システムの試作・実証

災害時に利用できる小型なエネルギー循環システムの有効性を立証するために小型なエネルギー循環システムを設計・開発した。開発したシステムを用いて今まで捨てられていた太陽光発電が無駄なく、効率的にかつ継続的に蓄積・利用できることを検証した。現在、試作したシステムは当初想定したコストより高価になったため、事業化に向けコストダウンを実施している。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

所属：特殊技研金属株式会社 研究開発室 リーダー

氏名：研究開発室 リーダー 平田 昌久

TEL：0479-64-2070

E-mail：hirata@tokteck.co.jp

第2章 本論

前章で述べた研究課題に対して3年間にわたり研究を推進した結果、具体的に以下の成果を得ることが出来、当初の目標を達成した。

1. 低温作動型 SORC の性能と熱衝撃性の向上に対する課題への対応

1-1 低温作動型 SORC の性能向上への対応

基体管の表面に、ディップコート法で(2)水素極層(CMF)、(3)バリア層(Ti-LDC)、電解質層(LSGM)、酸素極層(SSC)という順番で塗布・焼成を行うことで SORC の構造を形成する。性能の向上をさせるために基体管(Ni-YSZ)、(2)水素極層(CMF)、(3)バリア層(Ti-LDC)の熱膨張係数の合った材料に変更し、粉の粉砕時間などを調整することで粒度の調整を行う。粒度の調整は以前開発した圧粉体製作手順に沿って行い、収縮率測定装置を用いて各構成材料の収縮率をNi-YSZ 基体管の収縮率(13%~15%)に合わせる。加えて、電気抵抗の低減を実現するために(4)電解質(LSGM)を薄膜化する(50 μm →30 μm)。

令和元年度は低温作動型 SORC の性能向上させるために(1)基体管(Ni-YSZ)、(2)水素極層(CMF)、(3)バリア層(Ti-LDC)の熱膨張係数の合った材料に変更し、粉の粉砕時間などを調整することで粒度の調整を行い、収縮率測定装置を用いて各構成材料の収縮率をNi-YSZ 基体管の収縮率(13%~15%)に合わせた。加えて、電気抵抗の低減を実現するために(4)電解質(LSGM)を薄膜化(50 μm →38 μm)し、電解効率80%をほぼ達成させた。

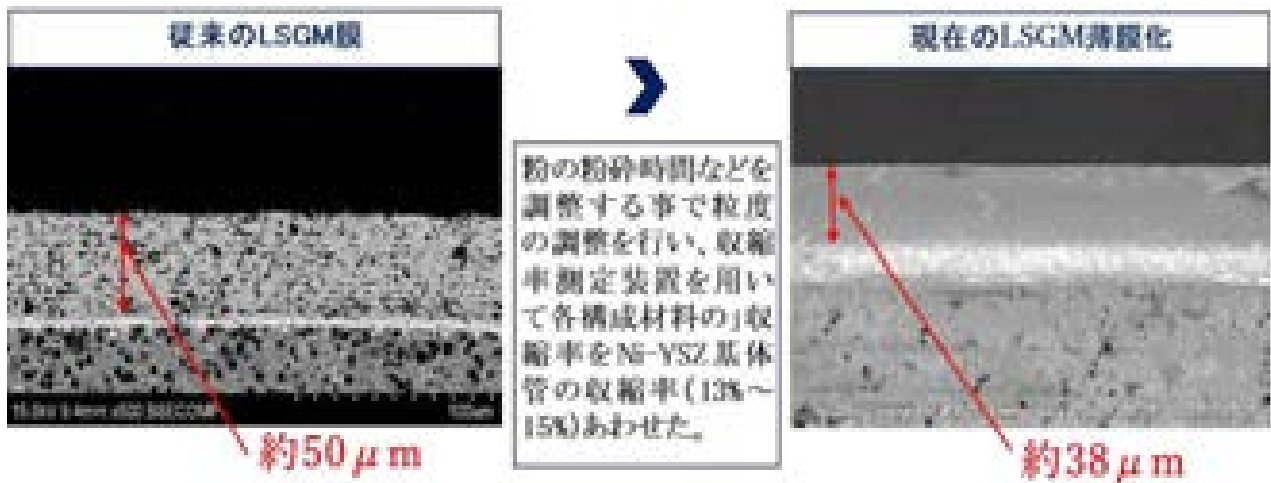


図8 薄膜化結果

令和2年度はサブテーマ 1-2 の熱衝撃性対応後、SORC を改良し、性能向上を実現させた。

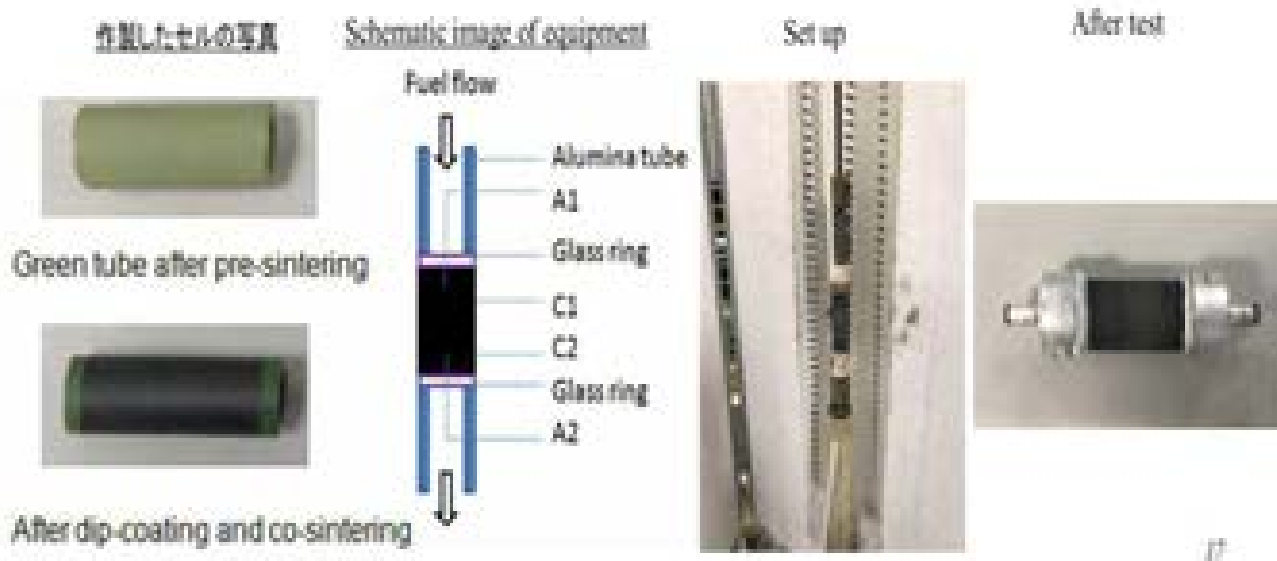


図9 SORC の改良結果

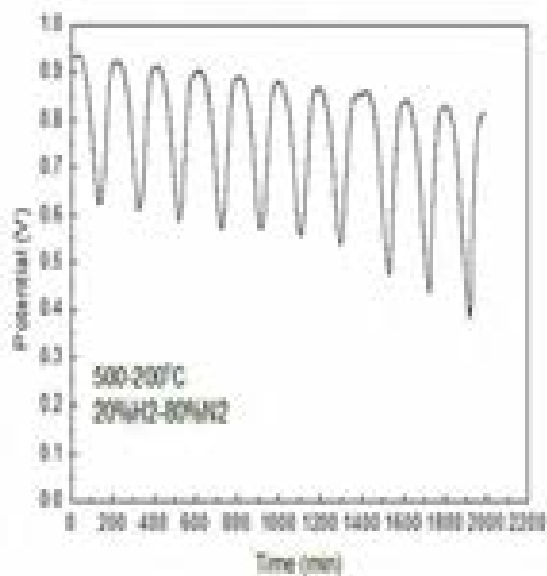
1-2 低温作動型 SORC の熱衝撃性向上への対応

令和元年度は性能向上前の低温作動型 SORC を用いて熱衝撃性の事前検証として耐久性が高い、円筒型の SORC を試作し、熱衝撃性を向上させる Porous LSGM の調合条件を決定した。



図 10 円筒型 SORC の試作結果と断面評価結果

令和2年度は熱衝撃性が高い低温作動型 SORC の試作・改良を行い、熱衝撃性向上の高い低温作動型 SORC を完成させた。



クラックの発生

200-500℃の熱サイクルを繰り返したのちの開回路起電力の変化と膜のSEM観察

徐々に開回路起電力が低下するが10サイクル後もある程度のガスの気密性を維持
劣化の理由は、電解質膜へのクラック発生であり、さらに熱膨張特性の整合を行った。

図 11 熱衝撃性の評価状況

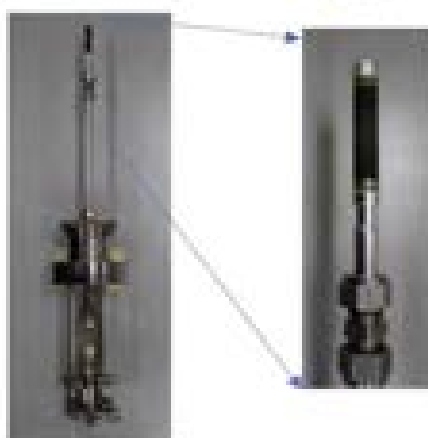
1-3 低温作動型 SORC の性能評価

令和元年度は単体の低温作動型 SORC に対する性能評価方法を確立後、それに沿った性能評価を行うことで性能目標を達成した。

性能の確認方法(装置写真)



試験装置調整用
YSZ-SOECの試作



円筒型SOEC試験用
セルアッセンブリーの試作

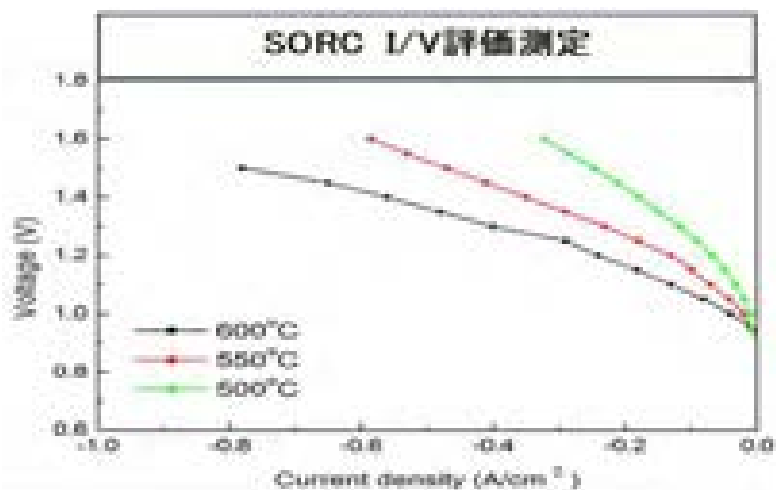


円筒型SOEC
の評価装置

図 12 性能確認方法

令和2年度は熱衝撃性及び性能の検証を行い、熱衝撃性が高く性能目標を達成する低温作動型 SORC を完成させた。

性能確認結果



Current density at 1.5V
500C 0.25 A/cm²
1.6V/500°Cで約70%のH₂電解効率

図 13 熱衝撃性対応後の性能確認結果

2. 低温作動型 SORC のスタック化技術の確立に対する課題への対応

2-1 スタック化された低温作動型 SORC の開発

令和元年度は九州大学と産業技術総合研究所の今までの成果を基に低温作動型 SORC のスタック化製作プロセスを確立した。

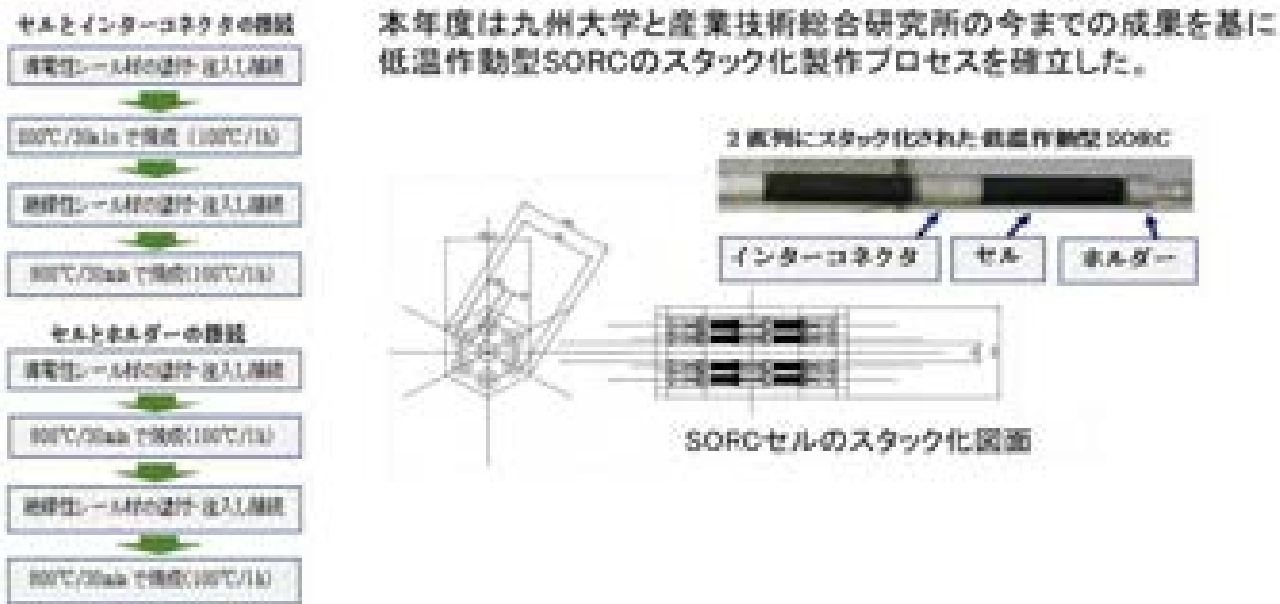


図 14 低温作動型 SORC のスタック化製作プロセスとスタック化のイメージ

令和 2 年度は単体の低温作動型 SORC で熱衝撃性及び性能の検証を行い、低温作動型 SORC のスタック化製作プロセスに沿ってスタック化モジュールを完成させ、熱衝撃性が高く性能目標を達成するスタック化された低温作動型 SORC を完成させた。

① 令和2年度は単体の低温作動型SORCで熱衝撃性及び性能の検証を行い、低温作動型SORCのスタック化製作プロセスに沿って2セルのスタック化モジュールを完成させた。

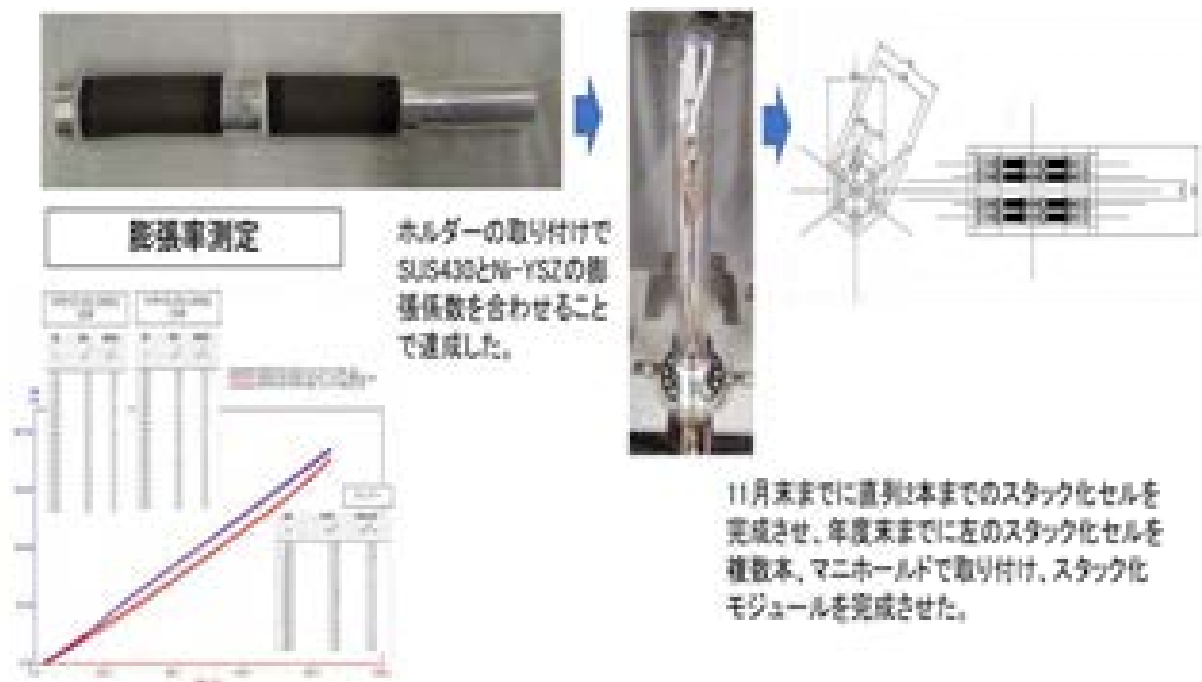
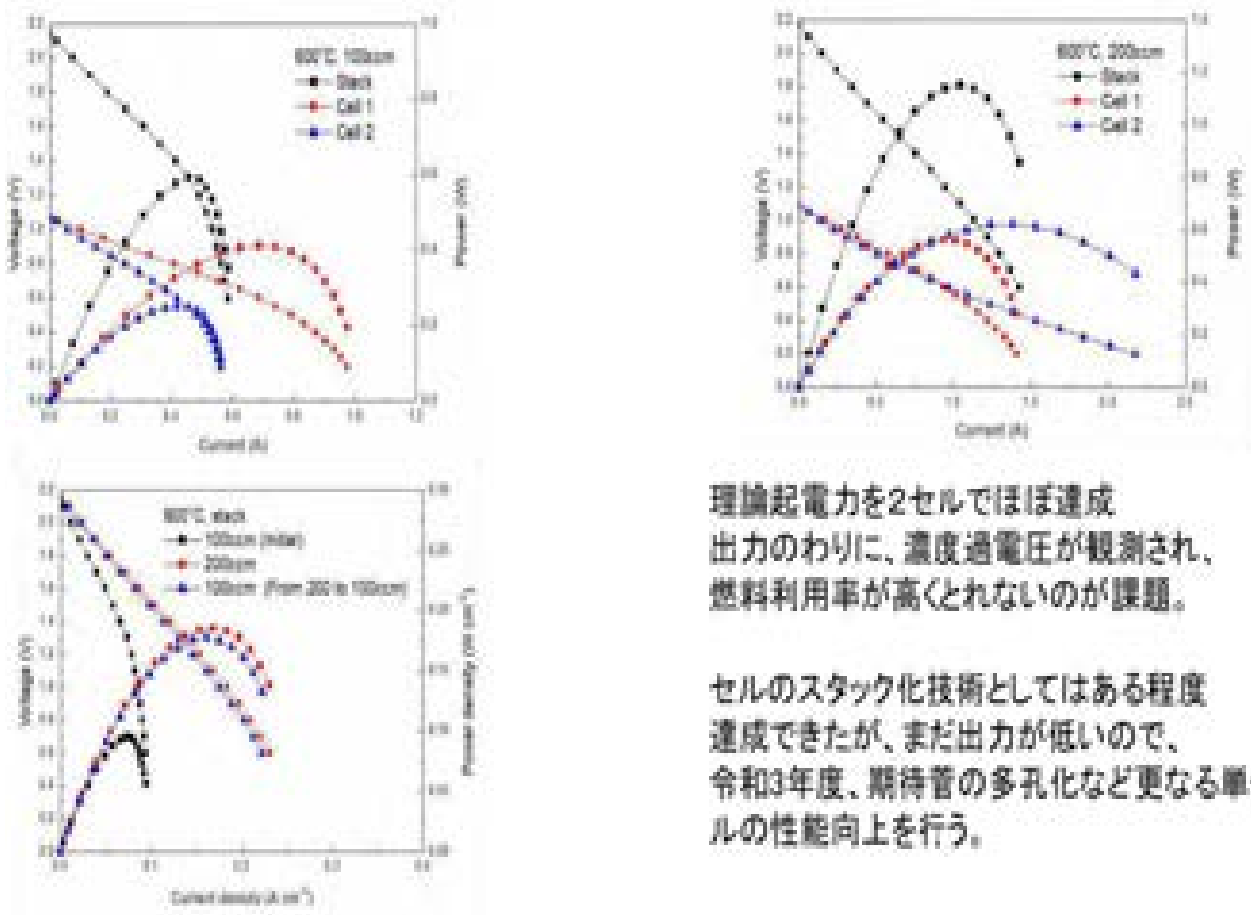


図 15 スタック化モジュールと膨張率の測定結果

②熱衝撃性が高く性能目標を達成するスタック化された低温作動型 SOFC を完成させ、2セルでほぼ性能目標を達成した。



理論起電力を2セルでほぼ達成
出力のわりに、濃度過電圧が観測され、
燃料利用率が高くとれないのが課題。

セルのスタック化技術としてはある程度
達成できたが、まだ出力が低いので、
令和3年度、期待管の多孔化など更なる単セルの性能向上を行う。

図 16 2セルスタックのSOFC特性 (600°C)

令和3年度は熱衝撃性が高く性能目標を達成するためにスタック化された低温作動型 SOFC を改良した。



図 17 性能評価用セル



図 18 段階的なスタック化された低温作動型 SOFC

2-2 スタック化された低温作動型 SOEC の性能評価

令和2年度はスタック化された低温作動型 SOEC の性能評価方法 (SOEC セル試験システム) を確立し、スタック化された低温作動型 SOEC の性能評価を開始した。

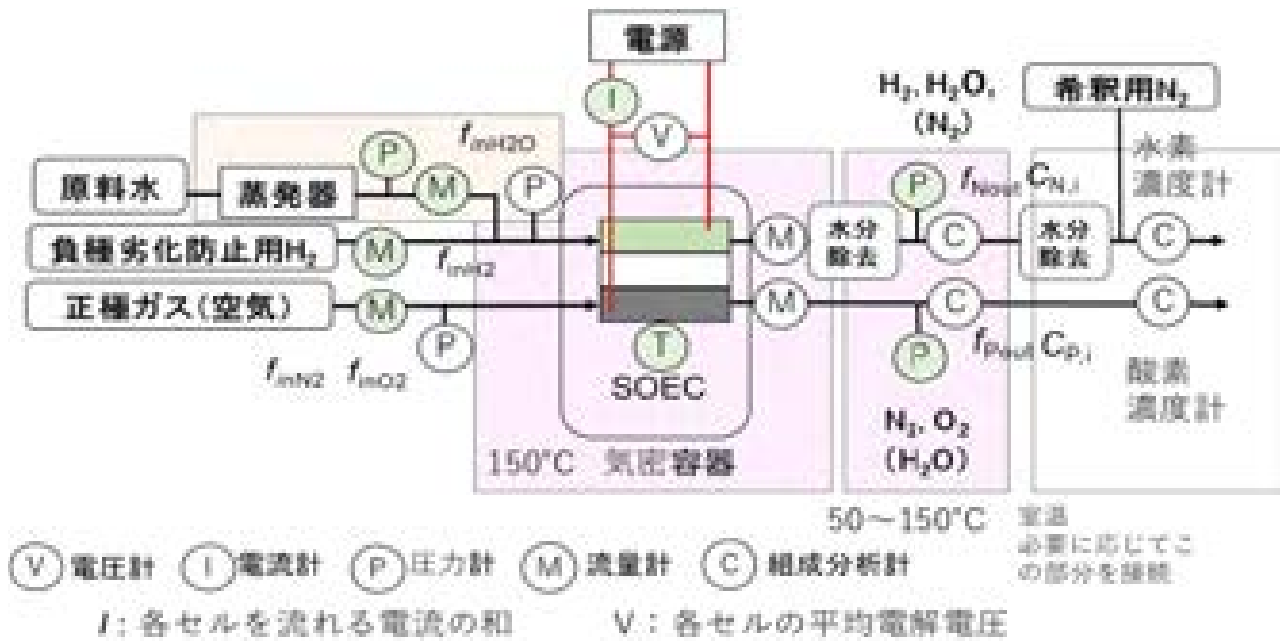


図 19 スタック化された低温作動型 SOEC の性能評価方法 (SOEC セル試験システム)

SOEC セル試験システムの特徴

- ・蒸気を精度よく安定に供給し、発生した蒸気混じりの水素について水蒸気を凝縮させずに流量・組成を精度よく測定する。
- ・正極での H₂ もれによる水蒸気の発生も把握する。

①水蒸気流量の安定な発生

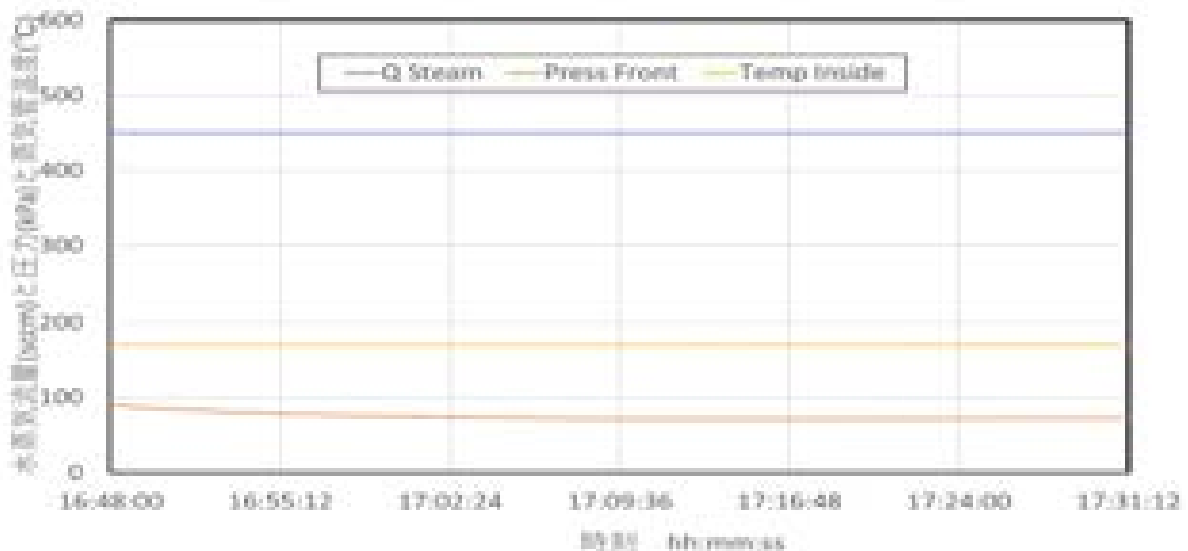


図 20 蒸気を精度よく安定に供給

- ・高圧ポンプ、高温オープンと高温流量制御器を用いて高温蒸気を安定 (0.04scm 流量の±0.01%程度) に発生させることに成功。ただし、ふらつく場合 (6.1scm 流量の±2%程度) もあるのでさらなる安定化を検討中。

②水蒸気流量制御器の校正

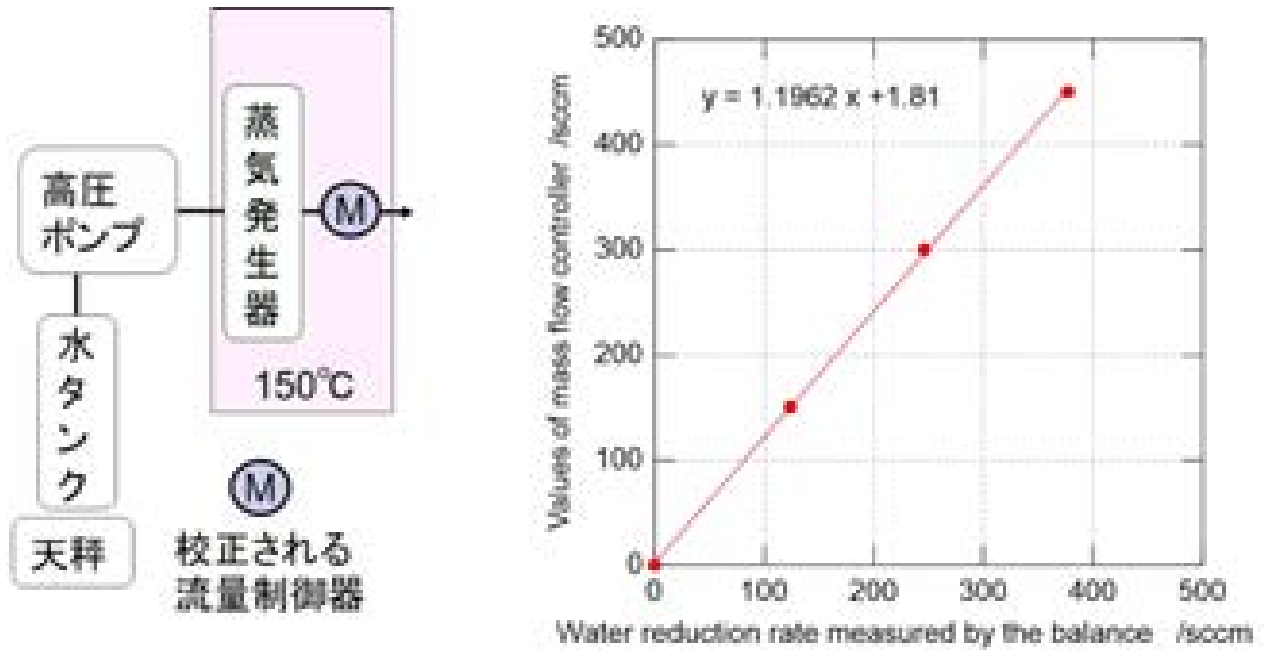


図 21 水蒸気流量制御器の校正

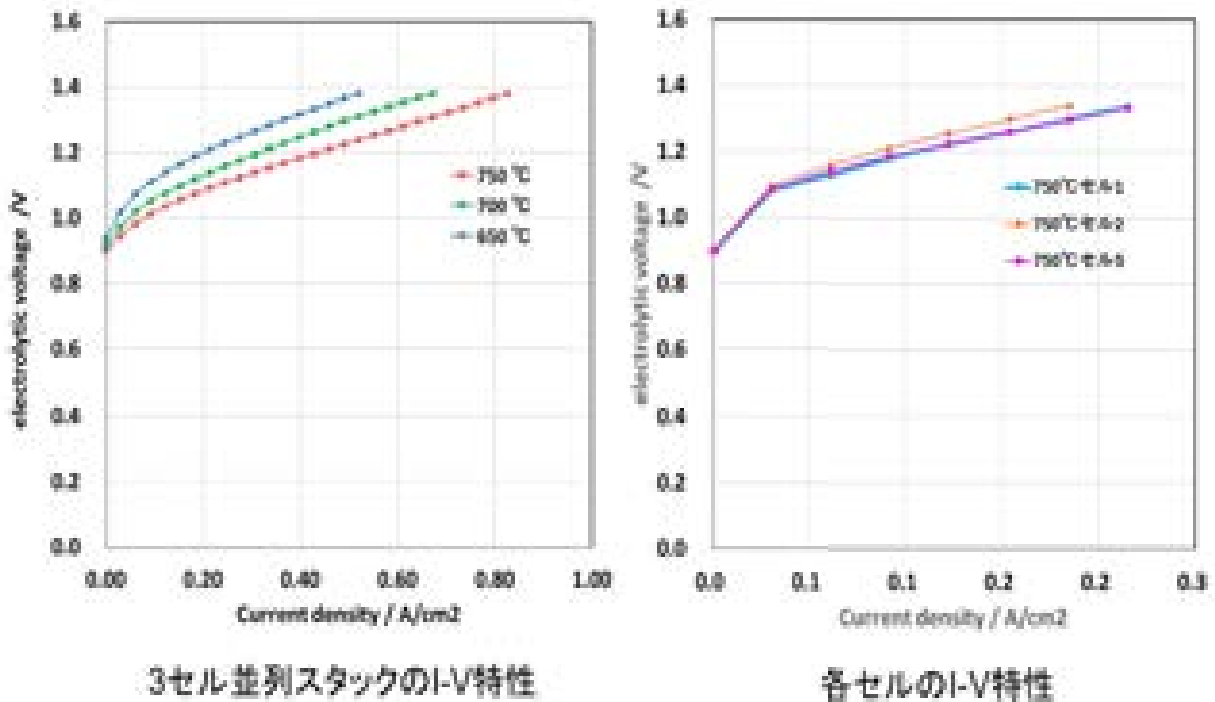
- ・ 6桁の精度の天秤により水タンクの重量減少を精度よく測定
- ・ 高温流量制御器（水素用）と天秤を組み合わせることで高温流量制御器（水素用）の流量を校正可能。
- ・ 高温流量制御器（水素用）を使用して蒸気を流した時の H₂O/H₂ コンバージョンファクターとして 0.836 を得た。

令和3年度はスタック化された低温作動型 SORC の性能評価方法に沿って性能評価を行うことで性能目標を達成した。

①試験装置の流量計、濃度計等の校正手順

1. 常温使用の流量制御器、流量計については、石鹼膜流量計など高精度の流量計にて校正。
2. 水蒸気用流量制御器については制御器を温度制御されたオープンの中に設置し、電子天秤-蒸気発生器を用いて校正。
3. 水蒸気・水素混合ガス用流量計については流量計を温度制御されたオープンの中に設置し、電子天秤-蒸気発生器、校正済の水素流量計を使用するか、校正済の水素流量計、酸素流量計を用いて濃度が規定された水蒸気・水素混合ガスを発生させ流量計を校正する。
4. 酸素濃度計、水蒸気濃度計、水素濃度計などは所定の温度のオープンに設置し、校正した流量制御器を用いて組成を規定した混合ガスを発生させ校正。なお、窒素-酸素混合ガスなどについては濃度の異なる複数のポンペを用いてもよい。（流量制御器を用いる場合は誤差に注意）

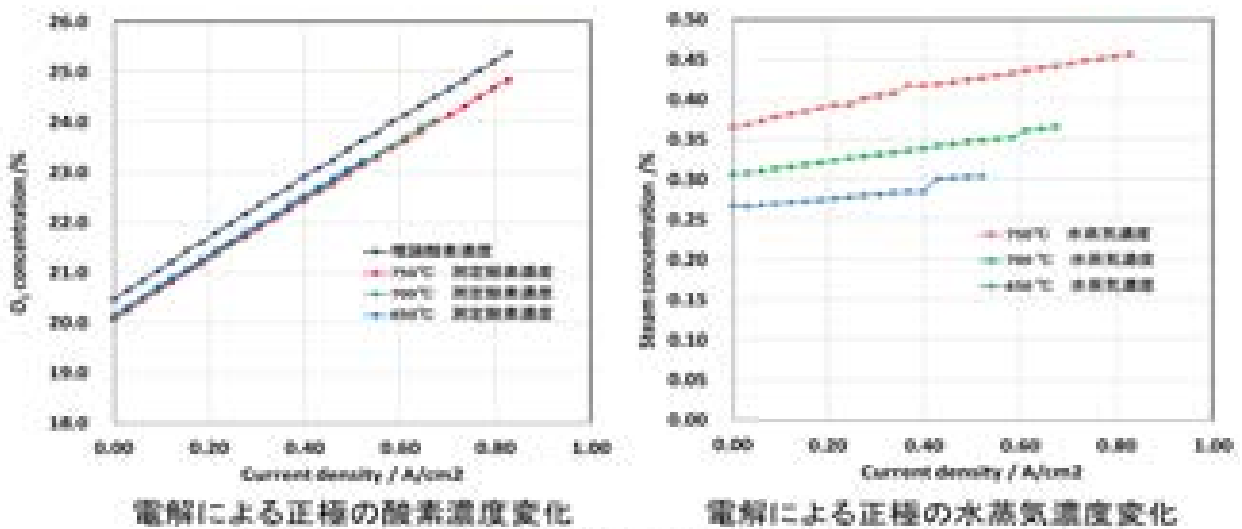
②並列3セルスタック性能測定結果



・2番セルがやや電解電圧が高い(8%程度)ものの、1番、3番の性能は良く一致。
 ・電圧変動、大きなリーク等はなく、安定に動作。

図22 並列3セルスタック性能測定結果

③正極の酸素、水蒸気濃度の測定

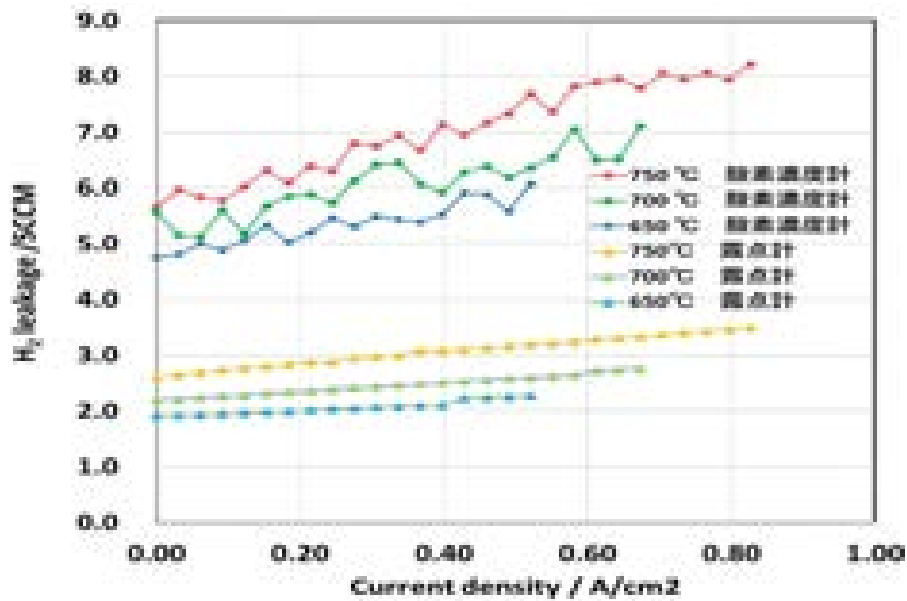


正極入口ガス流量: N₂ 600sccm, O₂ 150sccm (いずれの温度でも)
 負極入口ガス流量: H₂O 340sccm, H₂ 40sccm

・酸素濃度: 電解電流の増大とともに理論酸素濃度より0.4~0.5%低下
 ・水蒸気濃度: 0.25~0.45% 電解電流の増大、温度上昇により増加

図23 正極の酸素、水蒸気濃度の測定

④正極の酸素、水蒸気濃度、流量測定による水素リーク量の推定



推定水素リーク量

- ・水蒸気濃度からの推定： 負極から正極に2～3.5 sccm程度の水素リーク量
- ・酸素濃度からの推定： 5～8sccmの水素リーク量
- ・水素リーク量は正極ガス流量のおおよそ1%以下。
- ・リークなし状態での測定による校正が重要。

図 24 正極の酸素、水蒸気濃度、流量測定による水素リーク量の推定

⑤H2 リーク量の測定誤差について

・H2リーク量は以下のように計算。

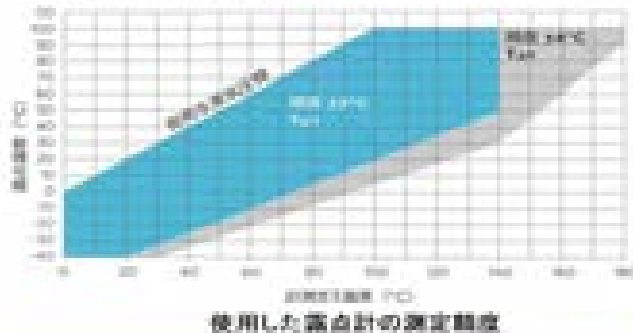
- ① (漏れがない場合の酸素濃度-実測酸素濃度)×2×正極ガス流量
- ② 水蒸気濃度×正極ガス流量

・測定機器の測定誤差は

- ① 正極ガス流量の誤差(不確かさ) ± 1%(7.5sccm)程度
- ② 酸素濃度計 ± 0.1Pt程度
- ③ 露点計 ±2°C at 60°C → ± 0.07 Pt程度

・水素リーク量の誤差

- 最小でも
- 酸素濃度計で ± 2.5sccm程度
(正極ガス流量の± 0.3%)
- 露点計で ± 0.6sccm程度
(正極ガス流量の± 0.08%)



使用した露点計の測定精度

- ・正極で酸素濃度計、露点計を使用する場合、正極ガス流量の1%程度まで水素リーク量を評価することは可能と考える。

図 25 H2 リーク量の測定誤差について

⑥性能評価方法のまとめ

- ・円筒型 SOEC スタックを試作するとともに、スタック試験装置の整備を完了した。
- ・試験装置用の流量計、濃度計等の校正方法を整備した。
- ・試験装置によりスタックの電圧-電流特性を測定するとともに、水素リーク量を測定した。
- ・供給ガス量の数%程度のリーク量の場合、正極に酸素濃度計や露点計を配置し、水素リーク量を計測することが可能。(正極ガス流量の1%程度のリーク量は計測可能と考える。)

⑦性能評価結果

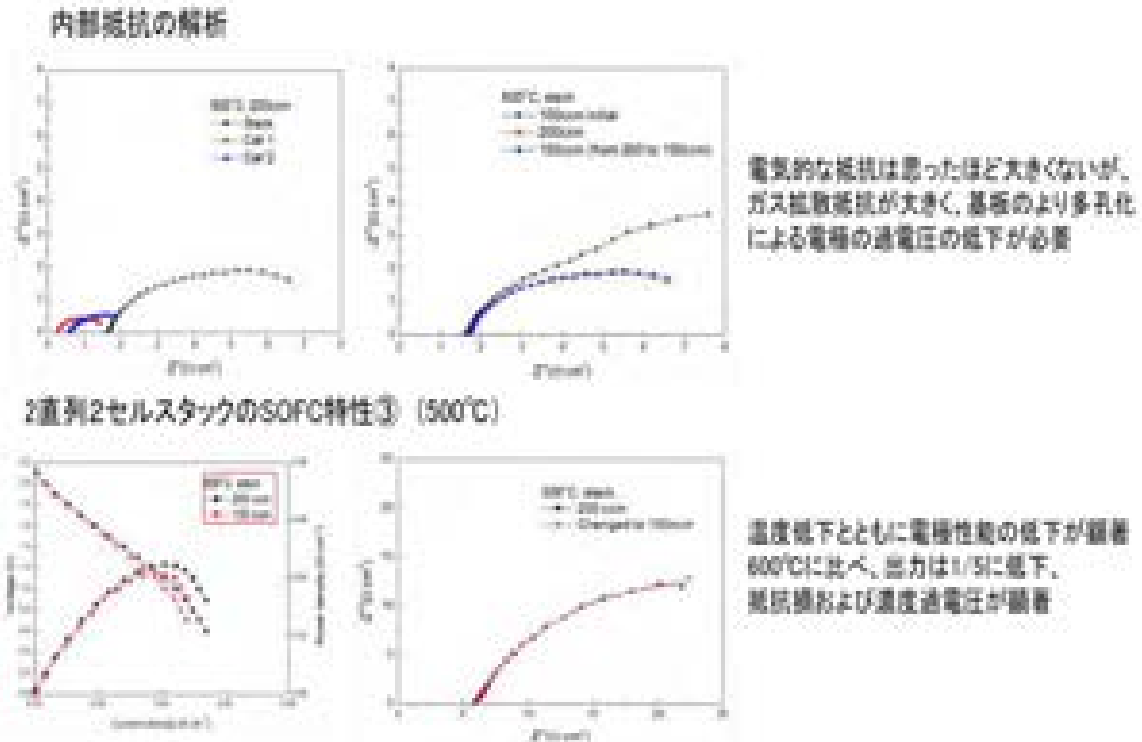


図26 直列2セルスタックのSOFC特性 (500°C)

熱衝撃性が高く性能目標を達成するスタック化された低温作動型 SOFC を完成させ、2セルでほぼ性能目標を達成した。現在のスタック化の規模が小さいので、本数を増やす試作・性能評価は継続している。

20本の並列スタックで1hあたり28ℓの水素が貯蔵される根拠

電気量・ファラデー定数

- ・電極で反応するイオンの物質量 (mol) は流れた電気量 (C) に比例する。ファラデーの法則
- ・3.6は1アンペア (A) の電流が1秒間流れたときの電気量である。

$$\text{電気量 (C)} = \text{電流 (A)} \times \text{時間 (h)} \times 3600$$

- ・1Fは電子1molの持つ電気量である。

$$\text{電気量 (F)} = 96500 (\text{C/mol})$$

電気量計算の解法

$$e^- (\text{mol}) = \frac{\text{C/h}}{2 \times 96500} = \frac{3600}{193000} = 0.01865 (\text{mol})$$

1A/cellあたりのH₂発生量

$$V = \frac{n(\text{mol}) \times R (\text{気体定数}) \times T (\text{温度})}{P (\text{気圧})} = \frac{0.01865 \times 0.082 \times 298}{1} = 0.4573 [\ell]$$

セルの電極表面積

$$2\pi rL = 2 \times 3.14 \times 0.5 \times 3.5 = 11 [\text{cm}^2]$$

1セルあたりのH₂発生量

$$11 (\text{cm}^2) \times 0.317 (\ell/\text{h} \cdot \text{cm}^2) = 1.507 \ell/\text{h}$$

並列20本セルとしての電力

$$1.5 (\text{V}) \times 0.3 (\text{A/cm}^2) \times 11 (\text{cm}^2) \times 20 (\text{本}) = 99 (\text{W})$$

3. スタック化された低温作動型 SORC を用いた小型なエネルギー循環システムの試作・実証

3-1 スタック化された低温作動型 SORC を用いた水素製造装置の試作・検証

令和元年度は単体低温作動型 SORC を用いた水素製造装置の設計・試作・評価を行い、装置の基本機能の検証を完了させた。

①太陽光発電と蓄電池の設計・試作・評価

システムのイメージ図



設計仕様



試作結果



図 27 太陽光発電と蓄電池の設計・一次試作イメージ

②水処理装置の設計・試作・評価



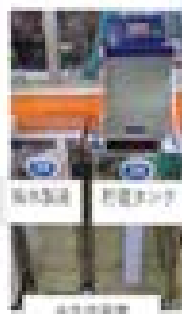
水処理装置のイメージ図

水処理装置の設計・試作・評価を行い、各装置の基本性能の検証を完了させた。

水処理装置の仕様

水処理装置は(SO)軟水化フィルターによりカルシウム等除去した硬度ゼロの軟水を生成し、純粋化フィルター(RO膜)により不純物を濾過した純粋(飲料水)を生成し、水素発生装置に供給する。電気分解の際に使用する電解質は、スーパーアルカリイオン水全体のたった0.1%の炭酸カリウム(K₂CO₃)のみであり、次亜塩素酸や合成界面活性剤などの化学合成物質、800/000などの環境汚染物質は一切含まれていないため、化学合成物質ゼロである。

pH12.5のスーパーアルカリイオン水であれば、通常の強アルカリイオン水ではできない「除菌」も可能であり、通常のアルカリイオン水の生成に用いる塩(NaCl)を使用しないため、腐食の原因となる塩素イオンを含まず高い防腐効果がある。

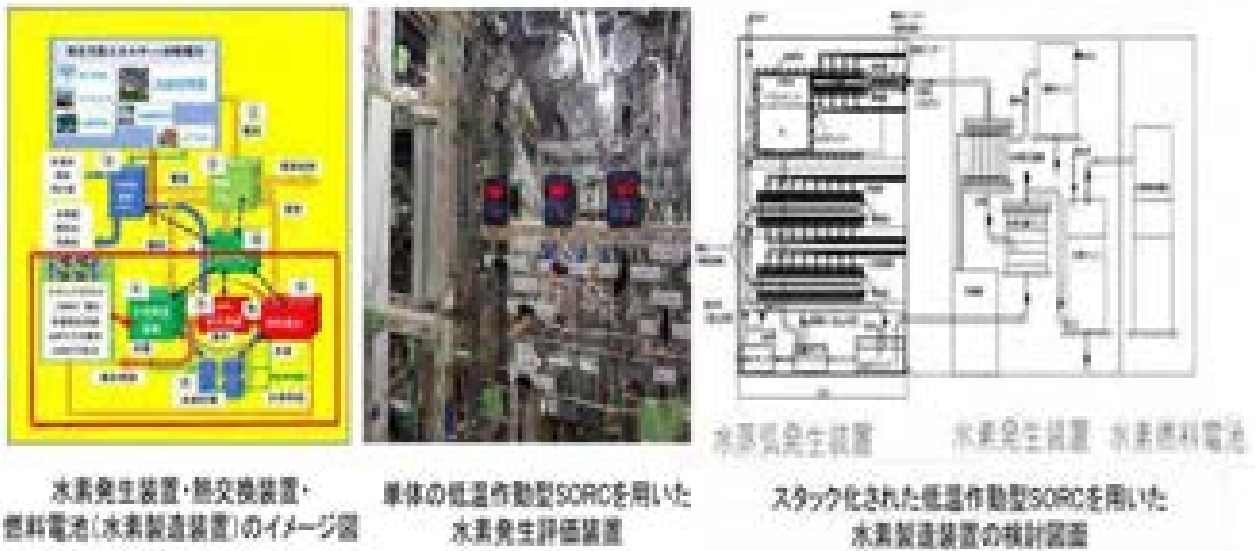


水処理装置

項目	仕様	メーカー名
機種名	水処理装置 (型番: W-001)	株式会社 ABC
製造番号	W-001-001	
仕様書	仕様書 (型番: W-001) (型番: W-001) (型番: W-001)	
保証書	保証書 (型番: W-001) (型番: W-001) (型番: W-001)	
取扱説明書	取扱説明書 (型番: W-001) (型番: W-001) (型番: W-001)	
電源仕様	電源仕様 (型番: W-001) (型番: W-001) (型番: W-001)	
電圧	100V	
電流	10A	
消費電力	1000W	

図 28 水処理装置の設計・一次試作イメージ

③水素発生装置・熱交換装置・燃料電池の設計・試作・評価



単体のSOFCを用いた水素発生評価装置の設計・試作・評価を行い、基本性能の検証を完了させた。既に次年度に向け、スタック化された低温作動型SOFCを組み込むための検討を開始している。

図 29 水素発生装置・熱交換装置・燃料電池の設計・一次試作イメージ

令和2年度は昨年製作した水素製造装置を改造し、スタック化された低温作動型 SOFC を用いた水素製造装置を完成させ、性能評価を達成することで従来技術よりも効率的に水素が製造できることを検証した。

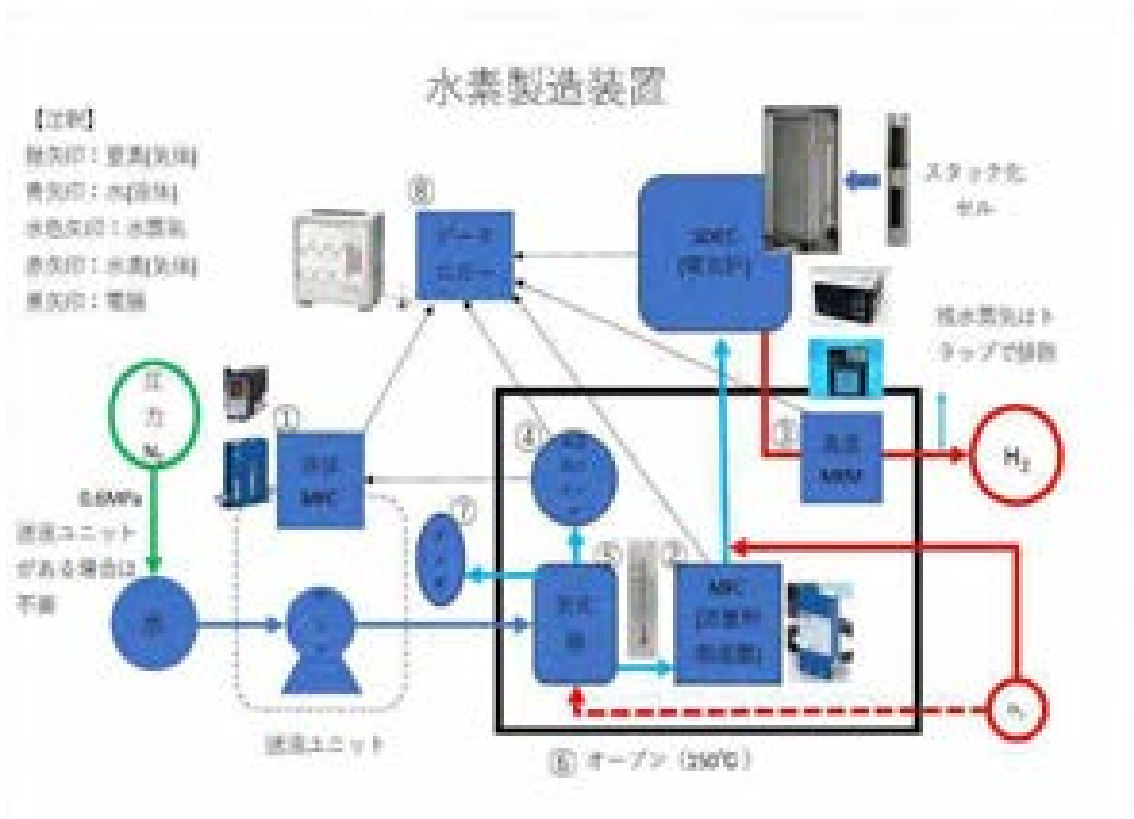


図 30 水素製造装置概略図

令和3年度は水素製造装置の動作検証後改良し、性能評価を達成する水素製造装置を完成させた。

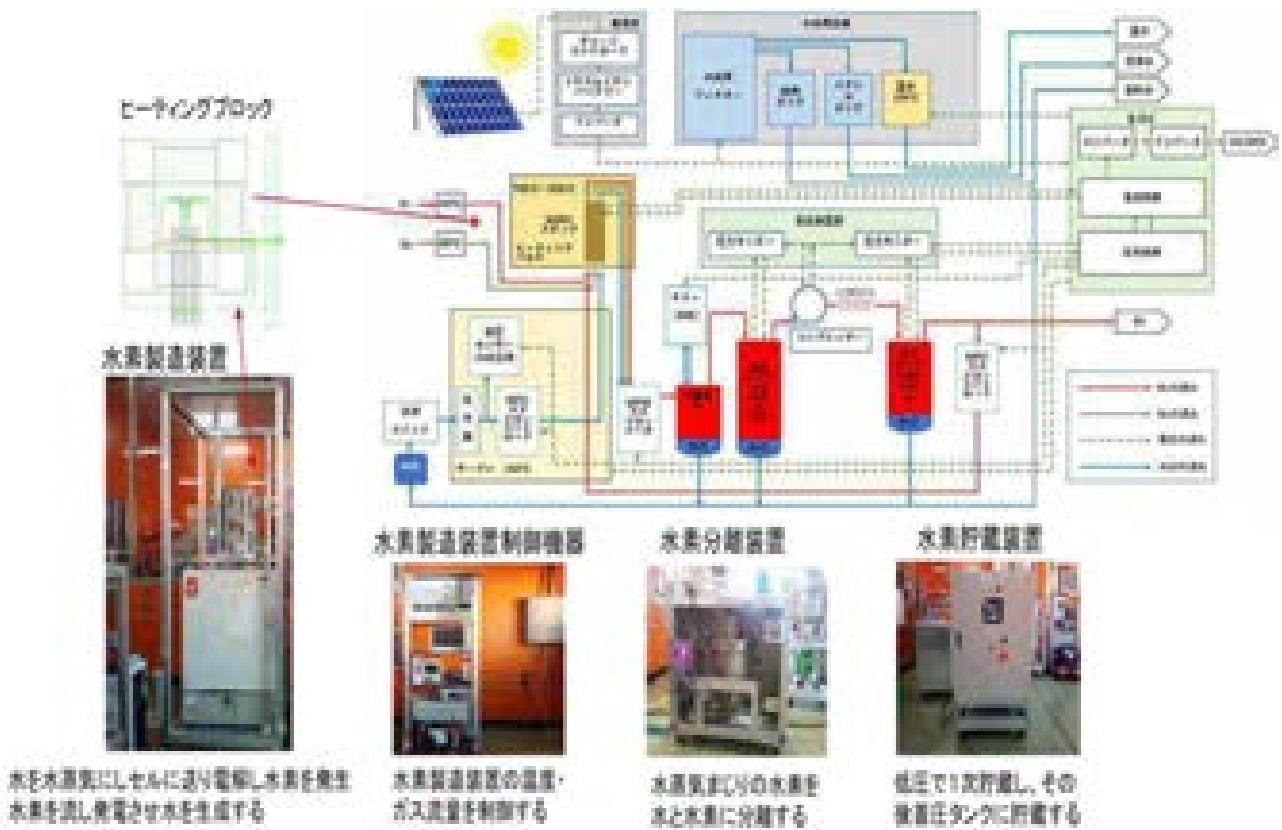


図 31 改造後の水素製造装置

改造ポイント

- ・ヒートイングブロックに変更することで、スタック化セルの規模拡大可能とした。
- ・継続的に安心して利用できるように水素蓄貯蔵関係の機能を改造した。

3-2 小さなエネルギー循環システムの実証試験

令和2年度はサブテーマ 3-1 の成果を基にエネルギー循環システムを屋外に設置し、小さなエネルギー循環システムの実証試験の準備を行った。



図 32 一次試作した小さなエネルギー循環システム

令和3年度は小さなエネルギー循環システムの完成後、連続運転（1 か月）を行い、災害時連続給電（72h）ができることを実証した。

小さなエネルギー循環システム構成図

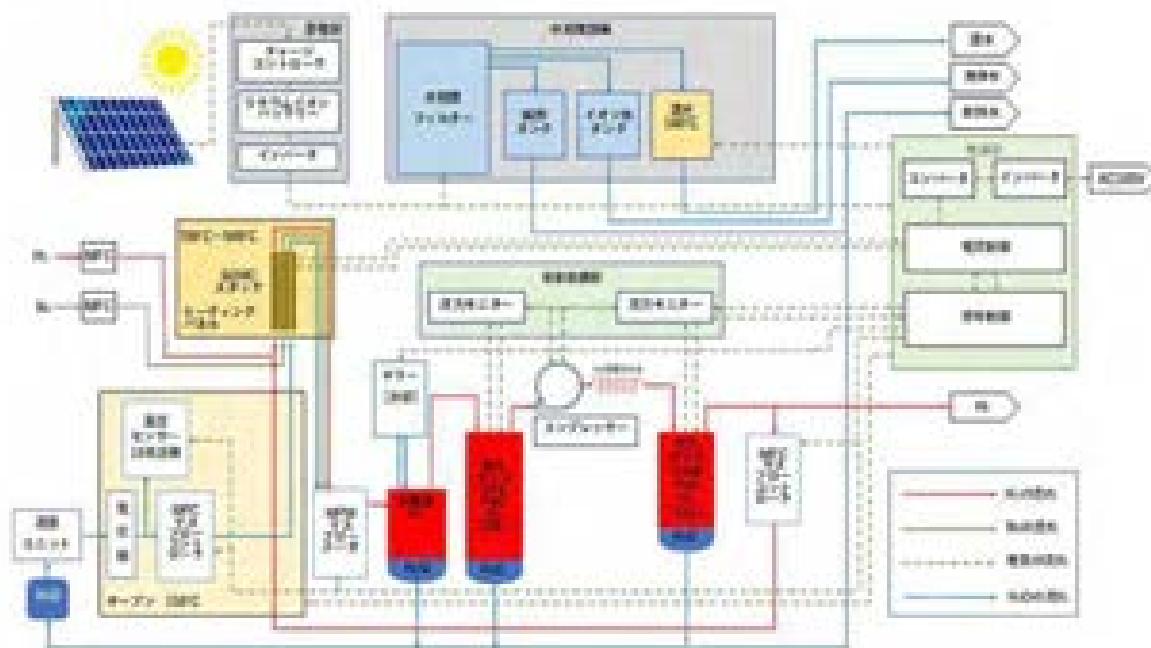


図 33 小さなエネルギー循環システム構成図



図 34 最終的な実証試験環境（小さなエネルギー循環システム）

最終章 全体総括

本プロジェクトの推進にあたっては、以下のプロジェクトメンバーの協力体制により、無事、研究開発を完了し、目標通りの成果を達成することができた。

令和元年より、3年間にわたり国立大学法人九州大学と国立研究開発法人産業技術総合研究所との産学連携により学術的な技術支援を頂いた。また、アドバイザーなどの千葉県、千葉県旭市、株式会社Eプラン、千葉セラミック工業株式会社、株式会社 エノアなど技術支援により耐久性の高い低温固体酸化物可逆動作セルのスタック化と小型なエネルギー循環システムの開発をすることができた。また、最後に小型なエネルギー循環システムの実証試験を通じて本技術の有効性を立証した。

3-1 複数年の研究開発成果

1. 低温作動型 SORC の性能と熱衝撃性の向上に対する課題への対応

現在、開発中の低温作動型 SORC は従来の平板セル（電解効率 40%）よりは性能（電解効率 70%）は向上出来ているが、実用化するためにはより一層の性能向上と熱衝撃性向上が必要とされている。これをサブテーマ 1-1~1-3 の達成により、安定的かつ高効率に水素（電解効率 80%）を製造できるようにした。

2. 低温作動型 SORC のスタック化技術の確立に対する課題への対応

現状の低温作動型 SORC はスタック化されておらず、スタック化製作プロセスと性能評価方法が確立できていない。これをサブテーマ 2-1、2-2 の技術目標達成により、低温作動型 SORC のスタック化技術を確立した。

3. スタック化された低温作動型 SORC を用いた小型なエネルギー循環システムの試作・実証

太陽光などの再生可能エネルギーを無駄なく効率的に貯蔵出来ない課題がある。これをサブテーマの 3-1、3-2 の技術目標達成により、無駄なく蓄電・発電できることを立証した。

以上の結果により、本研究にて開発した「耐久性の高い低温固体酸化物可逆動作セルのスタック化と小型なエネルギー循環システムの開発」技術の有効性が立証され、その結果、再生可能エネルギーなどと水を利用し、飲料水、温水、洗浄水、水素、電気を製造・貯蔵し、必要に応じて生成された水と電気、熱、水素で発電することにより、水素製造容量を向上出来た。

3-2 アドバイザーによる講評

・コロナ禍の中、ご苦勞様でした。セルの研究開発が長引くと思いましたが目標通り成果を出せたことは大変良かったです。今後は事業化に向けて、早期に進めることを期待している。

・コストダウンの課題があるようなので、協力者との体制を整え、量産できることを期待している。

・販売側としては清水建設様などのスーパーゼネコン様へ説明してきましたが、最近では中堅ゼネコン様から非常に興味を持って詳しく聞かせて欲しいという話があり、営業展開していても、将来的に非常に明るいと思ってる。事業化が 2023 年度からとなっているが、もう少し前倒しで進めなければ他社に抑えられてしまうことを危惧している。

3-3 研究開発後の課題

・低温作動型 SORC のスタック化技術を確立したが、規模の拡大とコストダウン、量産化になっているので、アドバイザーなど協力者を含めた体制を強化していく。

・小型なエネルギー循環システムも構築され、継続、実証試験が行えるようになったが、事業化するためにはコストダウンするために装置自身の更なる小型化や機能のシンプル化を行って行く。まず、低温作動型 SORC のスタックモジュールを優先的に事業化を目指している。

3-4 事業化展開について

補助事業の成果に係る事業化展開について、国立大学法人九州大学と国立研究開発法人産業技術総合研究所は、補助事業終了後においても、特殊技研金属株式会社へ引き続き技術支援を行う。

事業化展開については、以下のように計画している。

【研究開発成果に係わる製品】

表 7 製品等の概要

製品等の名称	製品等の概要（用途、特徴等）
<p>小型なエネルギー循環システム</p>  <p>装置サイズ：2.2m×1.2m×2m</p>	<p>[用途] 防災用小型なエネルギー循環システム [特徴] 再生可能エネルギーや余剰電源を充電して効率よく水素を製造・貯蔵し、水の生成を行う。必要に応じて燃料電池で発電して電力供給を行い災害時のライフライン（電気、水（洗浄水、温水、水蒸気）、水素）を供給できる。 [仕様] 再生可能エネルギーや深夜電力を利用して小型な自立型エネルギー循環システムを一つのユニットとして販売する。最大充電速度 1.4kW（水素発生 28L/h）、標準蓄電量 100W×72h 相当（水素 2 m³）。 [想定価格] 1000 万円（他社同等品の半額想定、利益率 20%目標）</p>
	<p>[用途] 水素製造、燃料電池用の低温動作型 SORC スタック化セル [特徴] 高効率な低温動作型 SORC スタックセルで水素製造・燃料電池に容易に組み込むことができる [仕様] 水素発生量 28 L/h、100W、水蒸気 500℃（水 22 g）低温動作型 SORC スタック化セルとして販売 [想定価格] 70 万円（他社装置の水素発生量で比較して 30%ダウンの価格）</p>
水素製造技術に係る特許権	この事業で開発する水素製造技術に係る特許権を取得し、ライセンス付与を行う。

【期待される効果】

・今回開発する小型なエネルギー循環システムは、太陽エネルギーで蓄電・水素製造し、非常時に電力・水等のライフラインを供給できる防災用エネルギー供給装置である。同様の機能を持つ東芝エネルギーシステムズ株式会社の自立型エネルギー供給システムと比較[表 8]する。

表 8 従来製品との比較

比較項目	従来の自立型水素蓄電システム（東芝）	今回の小型なエネルギー循環システム
コンセプト	 <p>コンテナ型の自立型エネルギー供給システム。300人に1週間分の電気と温水を供給。</p>	 <p>コンパクトな自立型防災用エネルギー循環システム。電力供給 100W×72h 相当を貯蔵（3 日分）晴天時連続運転可能</p> <p>装置サイズ 2.2m×1.2m×2m</p>
最大利用エネルギー	30kW（太陽光発電電力）	4.8kW（太陽光発電電力）
太陽光発電容量	30kW	3.1kW
集光面積	△大（推定 192 m ² ）	◎小（22 m ² ）
水素製造速度	最大 1 m ³ /h（90g/h）→100W 換算：3.3L/h	最大 0.7 m ³ /h（63g/h）→100W 換算：22.5L/h
水素製造方式：効率	△電解効率：40%、	◎電解効率：80%、
水素貯蔵容量	大（33 m ³ 、24.3 kg、0.8MPa）	小（2 m ³ 、1.5kg、0.8MPa）※拡張可能
電力貯蔵量	350kWh（一人当たり 167Wh）	72kWh（一人当たり 100Wh）※拡張可能
燃料電池出力	最大 3.5kW、平均 2kW	最大 3kW、平均 1kW
燃料電池方式：効率	△固体高分子膜型：36.3%	固体酸化物形燃料電池：60%
用途	防災用電源、温水供給	防災用電源（温水・酸素・過熱蒸気追加可能）
設置面積	240 m ² （推定）	22 m ² （システム：3.3 m ² +太陽光発電：22 m ² ）
導入コスト	△高い	◎安い
導入のしやすさ	△（広い設置面積、高コスト）	◎（小型で高効率なので省スペース、低コスト）

※東芝エネルギーシステムズ株式会社「H₂One」の各種効率等は、同製品 web サイトに公表されている仕様から推計した。

- ・今回開発する小型なエネルギー循環システムは、再生可能エネルギー+余剰電源及び深夜電力で蓄電し、非常時に電力を供給する小型防災用エネルギー循環システムである。
- ・低温作動型 SORC については、その実用化により、水素発生あるいは燃料電池が応用可能な様々な機器でエネルギー効率を向上できる。低温作動型 SORC セルでの優位性を下表[表 9]に記す。なお低温作動型 SORC セル完成時には株式会社東芝や株式会社 IHI から導入したいとの要望を頂いている。

表 9 SORC セルでの優位性

比較項目	従来の SORC	低温作動型 SORC
運転温度	△800℃:高温による危険性	○500℃以下:従来に比べ起動が容易
効率	○	◎
導入のしやすさ	△(高温による設計上の各種障害)	◎

【その他波及効果】(川下産業の競争力に貢献、産業への波及効果、他の技術など)

表 10 今回の研究開発の波及効果

川下産業への貢献	川下産業である建設業界に、自然エネルギーを利用した自立型のライフラインという新たな分野の市場を形成するとともに、インフラ整備の付加価値を高めることができる。
仕入・取引先への貢献	仕入先の部材メーカーやその他取引先とのつながりが強化され、利益還元できる。
産学連携や先端技術への貢献	技術的な協力をいただく九州大学、産業技術総合研究所には、研究費とロイヤリティの形で利益を還元でき、新たな研究開発の推進により水素関連技術の高度化に貢献できる。
環境問題解決(地球温暖化防止)への貢献	スタック化された低温作動型 SORC の技術提供により、高効率なエネルギー機器の開発が促進され、省エネを推進できる。それにより、温室効果ガスの排出を抑制し、地球温暖化対策に貢献する。経済的にも、排出権購入等、対策にかかる余分なコストを削減できる。
余剰電力有効活用とエネルギー備蓄への貢献	スタック化された低温作動型 SORC を用いたエネルギー循環システムでの水素製造は長期安定した蓄電能力であり、他の発電設備で過剰発電により無効となっている電力(余剰電力)を活用したエネルギー備蓄が可能となり、エネルギー安全保障の観点からも好ましい効果を生むことができる。
自然エネルギーの課題解決への貢献	小型なエネルギー循環システムを、再生可能エネルギー(風力発電等)の自然エネルギー発電設備と連携することにより、自然エネルギーの難点である発電量の変動を容易に平準化することができ、スマートグリッドや系統連系の拡大を促進し、自然エネルギーの利用を推進できる。
国際経済への貢献	新技術の社会的信用が増し、採算性が認知され、国際的に採用されるようになれば、現地企業による設置工事やライセンス生産により、現地経済を活性化できる。
社会への貢献	日本発、世界初の小型なエネルギー循環システムが、日本国内、さらには、全世界に普及することにより、防災機能が強化されるとともに、エネルギー需給が安定化し、災害に強く豊かで快適な環境にやさしい平和な社会の構築に貢献できる。

【新たな事業展開の可能性】

エネルギー循環システムは、電気に加えて、水素、水(洗浄水、温水、水蒸気)、高濃度酸素も供給する機能を付加することが容易であり、非常用電源のみならず、水素ステーションやエネファーム、非常用医療機器(滅菌/医療酸素)としても利用可能なエネルギー循環システム概要「図 35」として市場展開できる。

このような装置は、広く市場に浸透すると見込まれる。なぜなら、FCV(燃料電池自動車)が大きく普及すると同時に、小型化した水素製造システムも、防災用及び FCV 所有者(事業所も含む)向けの自家用水素供給設備として、過疎地も含め全国規模で需要が生じると見込まれるからである(実際、そのような製品の開発要望を、特殊技術研金属株の顧客である大手ゼネコンや大手商社からいただいている)。

独立型なので、インフラ未整備地域でも構築可能であり、国内はもちろん、海外でも多くの地域に導入が可能である。この製品の販売により、ゼネコンとの連携が強化され、新たなインフラ整備の方向性が見出されるものと期待される。



図 35 エネルギー循環システム概要

【その他】

今回開発する商品は、導入が容易で用途も広く、建築業界だけでなく幅広い顧客に販売できるため、トップライト事業と太陽光水素事業の2本柱による相乗効果で、安定した売上拡大と工場稼働率（生産量）の平準化が見込まれるとともに、次のような副次的効果も期待できる。

①地域経済への貢献と雇用創出

増産に合わせて雇用の大幅な増加も見込んでいる。

旭市役所には、過去に防災倉庫の常用/非常用電源として太陽追尾式蓄電システム SB-3000 を寄贈しており、今回の小さなエネルギー循環システムと併せて防災システムのモデルケースとして知名度を上げ、観光や名産品のPRとタイアップすることにより、地域の活性化につながる。

②競争力強化につながる経営資源の蓄積

小さなエネルギー循環システムの製品化に伴い、新たな製造技術を導入するため、製造可能な製品の幅が広がり、景気に左右されにくい強固な経営基盤が構築される。また、高度な技術開発により会社のブランド力が上がり、自社製品全体の売上が拡大する。

【想定する国内、海外市場（現状、今後の動向）】

特殊技研金属㈱の小さなエネルギー循環システムは、再生可能エネルギーで水素と水と電気を供給できる小型設備という特徴を持ち、輸入資源に依存しない、クリーンな水素供給を実現する、次世代エネルギーインフラである。

ターゲットとなるのは、防災用自然エネルギー市場および水素供給市場であるが、今後どちらの市場も共に拡大する見込みである。

太陽光をはじめとする自然エネルギーについては、災害等の非常時における必要最低限のエネルギー供給源として活用されることが期待され、震災を受け複数の自治体で、防災拠点への導入を支援する取り組みが進められている。また、世論調査によれば、「今後、最も増やすべきエネルギー」として、国民的コンセンサスも得られており、市場拡大に追い風が吹いている。

（市場の規模と今後の見通し）

水素供給については、2020年の国内需給規模予測が10～100億N^m／年（小売100円／N^mとして、0.1～1兆円／年）とされており、FCVの普及とともに急速に市場拡大すると予測されている。世界的にも、世界水素インフラ市場規模予測「図36」は急成長し、2040年には80兆円に達し、その後10年でさらに2倍に拡大すると予測されている。

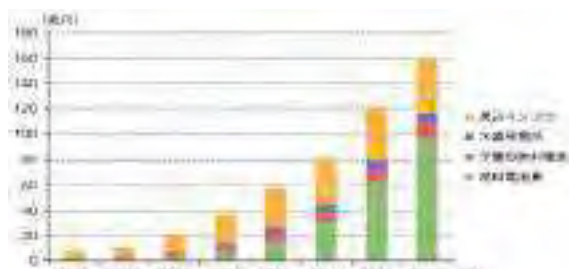


図36 世界水素インフラ市場規模予測
(水素エネルギー白書より)

【川下企業（顧客）ニーズ】

具体的なニーズ[表11]としては大手ゼネコンや大手商社より、以下のようなご要望をいただいている。

- ・常用も可能な防災用電源：自治体等の庁舎や防災倉庫、高速道路のPA/SA、入院施設のある病院
- ・水素供給源（水素ステーション）：ガソリンスタンドや大型駐車場に併設

表11 具体的なニーズ

施設	ニーズ
病院	ライフラインが止まっても、止められない
避難所	災害時にもライフライン（電力・水（洗浄水、温水、飲料水））を確保したい
計画停電地域	生産を止めたくない
僻地（インフラの無いところ）	オンサイトで得られるエネルギーを独立して継続的に使いたい
通信インフラ	災害時にも安定稼働させたい
高速のゲート	非常時も稼働可能にしたい
工場・オフィス	電力供給調整時にも電力を確保したい／基本料を節約したい
自然エネルギー発電	発電した電力を無駄にしないよう、蓄電により出力変動等の問題を回避したい

（対応方針）

上記の各ニーズに対応できる小さなエネルギー循環システムを提供することで、災害時への対応と、自然エネルギーを活用した安心、安全な社会を構築することにも貢献する。

大手ゼネコンや設計事務所と協力して製品の性能やオプション機器を充実し、各施設のニーズに合った仕様（水素製造能力、蓄電容量、発電容量、水生成能力、付帯設備等）の設備を柔軟に提供できる体制を構築する。

【販売促進戦略】

今回開発する小型なエネルギー循環システムに係る事業化体制を図 37 にまとめる。販売戦略は次のように考えている。

ステップ 1：新技術の実証と周知（2021 年度）

旭市（自社）と産総研又は九州大学にて、常用可能な防災設備として実証試験を行い、その成果を用いて他機関へ売込む。営業活動は特殊技研販売㈱が行う。エンドユーザーとのパイプ役となるゼネコンやコンサルタントにもシステムの特長を周知し、インフラ整備に活用していただけるよう、展示会出展や業界誌掲載、実証試験見学会等を行うとともに現在参画している福岡水素エネルギー戦略会議に働きかけ会員企業（662 社）の協力を頂く。また、アドバイザーの千葉県と旭市にも、防災設備として各方面への紹介を依頼する。

ステップ 2：市場開拓（2022～2025 年度）

特に防災ニーズが高い東北地方や千葉県を中心に、国や自治体の防災拠点や通信設備への設置提案を、特殊技研販売㈱がゼネコン等と協力して行う。非常時医療用の機能を充実し、病院への売込みも開始する。

大学等の研究機関や高速道路の PA/SA（パーキングエリア/サービスエリア）への設置を積極的に推進し、実績を築くとともに、web サイトも活用することで、小型なエネルギー循環システムの特長が世間一般に正しく理解されるよう努める。また、将来的に大きな設置数量が見込まれる水素ステーションや高機能エネファームとしての市場投入も、実証的に開始する。

省エネや自然エネルギーの導入補助金の対象となるために必要な各種認証も取得する。

ステップ 3：（2025 年度以降）

導入実績を基に、全国に向けて売込みを本格化する。ゼネコン等協力して、様々なユーザーニーズに合わせたオプションを開発し、提案を行う。特に、小型なエネルギー循環システムとしての販売を充実し、ブランドイメージを確立する。高機能防災用インフラとして、避難所となる学校等や道の駅への導入も推進する。また、大型冷凍設備を持つ施設（食品工場やショッピングセンター）へも、長時間停電による冷凍食品等の商品毀損リスク回避ツールとして提案する。一般企業や海外への販売も、商社を通じて行う。

技術利用を希望するメーカーへのライセンス提供や、業務提携による製造販売も行う。

【知財戦略】

今回得られた成果については、顧問弁理士と相談して、権利化が有効であると考えられる技術については届け出を行い、特許等が得られれば積極的にライセンス供与を行う方針である。

【販売先、川下製造業者等の事業化の体制】

【事業化担当者（所属・役職）】 小出重憲（特殊技研販売株式会社 専務取締役）

【事業化体制図】

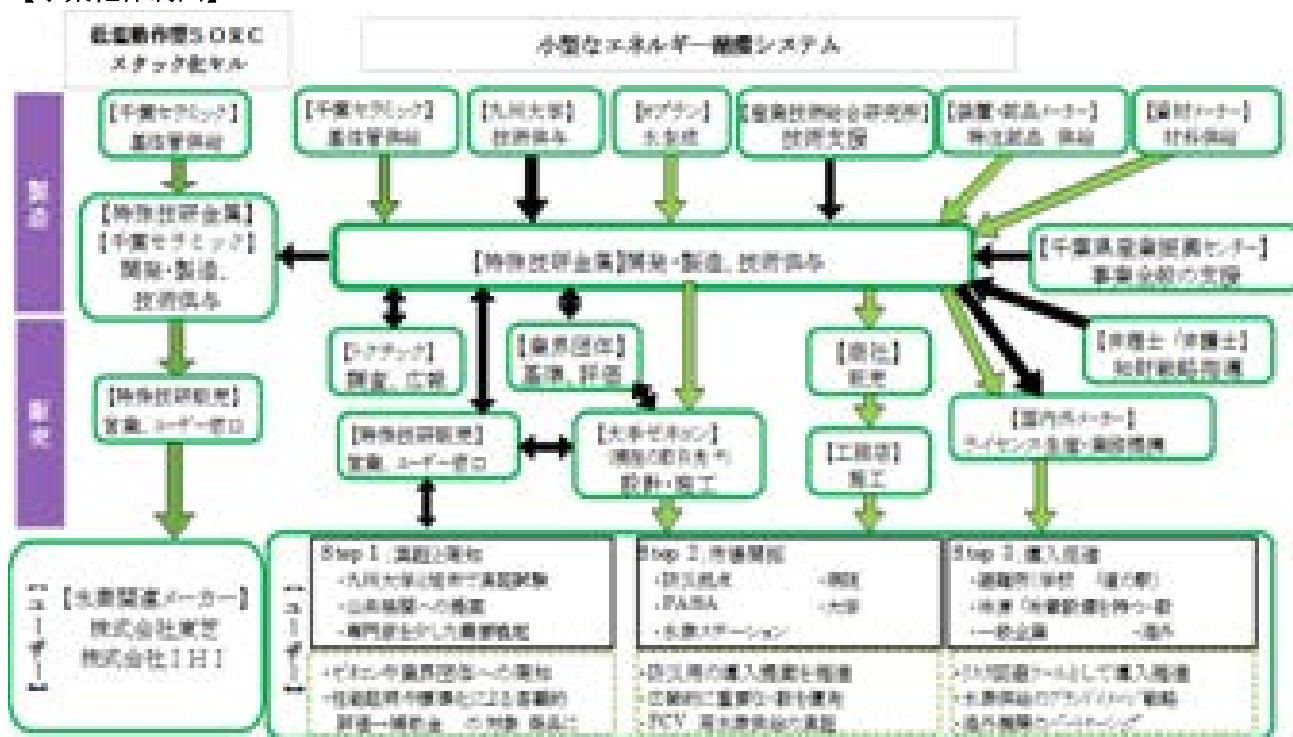


図 37 事業化体制図（緑線：物の流れ、黒線：情報の流れ）

※取引先の大手ゼネコン：大成建設㈱、清水建設㈱、㈱大林組、鹿島建設㈱、㈱竹中工務店、戸田建設㈱、他