



令和4年度 環境省「地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事業」

成果発表③ バイオマス・循環資源低炭素化技術開発分野

ビール工場排水処理由来高純度バイオメタンガス 燃料電池発電システム技術開発実証事業

令和5年2月9日

三井住友ファイナンス&リース株式会社

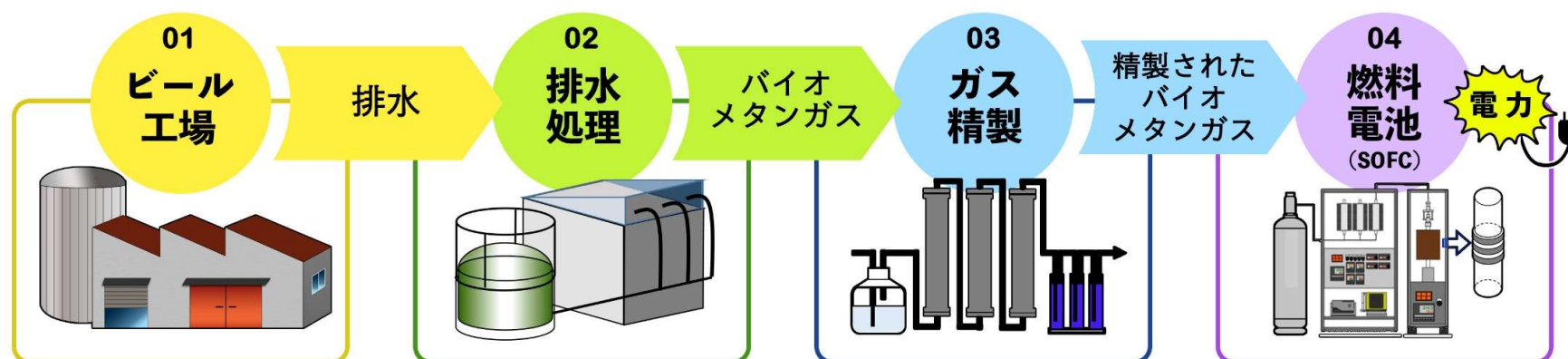
中村 元

アサヒクオリティーアンドイノベーションズ株式会社

川村 公人

§1. 今回の課題に取り組んだ背景・モチベーション

本実証事業内容



メリット

- ・カーボンニュートラルなバイオメタンガスが工場内で製造できる ⇒ 無料の燃料？
- ・今は燃やしているが、電気に変えたらオトク ⇒ 電気代が高価、CO2排出も負担義務
- ・カーボンニュートラルなのでCO2排出もゼロ ⇒ 会社の社会的責任を果たせる
- ・燃料電池は高効率に電力を得ることができる ⇒ 今のコジェネより採算性良さそう

課題

- ・被毒物質の存在が大きな問題 ⇒ 燃料電池への適用は技術的ハードルが高そう
- ・被毒物質除去に多額の費用を要しそう ⇒ 結局、コストアップになる危険性がある
- ・ビール会社には燃料電池の技術は無い ⇒ 専門家とのオープンイノベーションが必須

∴ とても難しそうだが、やれるだけやってみる以外、無い！



小規模試験が成功したことを受け、環境省補助事業に応募した。

§2. 今回の課題と、技術開発の進めかた

本実証事業内容

①. 【課題の概要・目的】

ビール工場の排水処理工程副生バイオメタンガスを精製し、SOFC燃料電池を用いた10,000時間の長期連続発電試験に成功したことを受け、社会実装可能となる規模の燃料電池用副生バイオメタンガス精製・供給システムを構築すると共に産業用燃料電池システムを改造し、新たにバイオメタンガスと都市ガスの双方で発電可能となる、200kW級燃料電池を創り、バイオ燃料電池発電実証を成功させる。本技術は、国内外を含め多くの機関がチャレンジするも何れも失敗しており、世界的に実用化が期待されている領域であった。

②. 【技術開発・実証の内容と成果】

○重要な開発要素

- ・ビール工場排水副生メタンガスを精製し、被毒物質を検出限界以下まで低減
- ・産業用燃料電池を改造し、都市ガスとメタンガスの混焼可能な装置を創り稼働
- ・組成と発生量の変動するメタンガスを用いて安定的にエネルギー変換を実施

A1. 【バイオメタンガス高純度精製供給システムの開発と実証】

社会実装可能となる安価なシステムで複数の燃料電池を同時に運転できるシステムを構築し、初の燃料電池用バイオメタンガス供給システムを安定的に稼働。

A2. 【バイオメタンガスと都市ガス混焼型産業用SOFC発電装置の開発と実証】

都市ガス用産業用燃料電池を改造し、バイオメタンガスと都市ガスを混焼可能となるシステムを構築し、社会実装可能なレベルまで仕上げて稼働。

A3. 【メタン精製と燃料電池発電をバランスさせ、CO2排出削減効果を極大化する】

組成と発生量の変動するバイオメタンガスを精製し、工程内に変動吸収機能を持たせる事で、バイオ燃料電池の効率的定常運転を実現し、CO2排出削減効果を極大化し、その性能を検証。

B. 開発要素のシステム統合と、C. その他実証

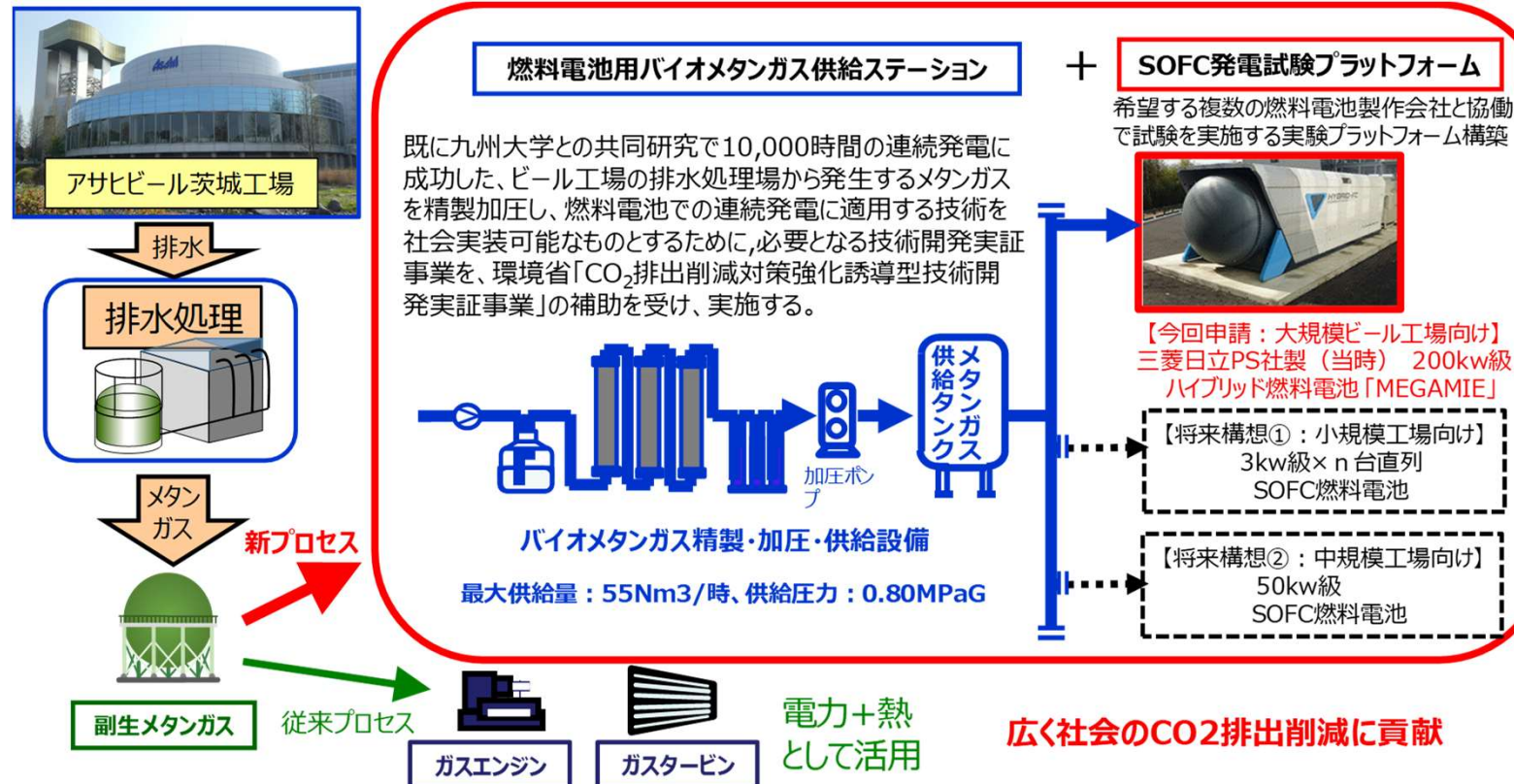
組成と発生量の変動するバイオメタンガスを精製工程で安定化させ、その次工程に当たる燃料電池発電効率を最大化させる。具体的には、精製工程と燃料電池の間にメタンガス供給タンクを設置し、その圧力をコントロールする事でメタンガス精製流量と燃料電池供給流量が相互に干渉しないシステムで連結した。

開発要素としては、互いに異なる時定数を持つシステムを出来る限りシンプルなシステムで同じ系で制御させる事が可能となる制御変数の構築が重要であった。

§3. 今回開発したシステムの全体概要

本実証事業内容

③【システム構成】



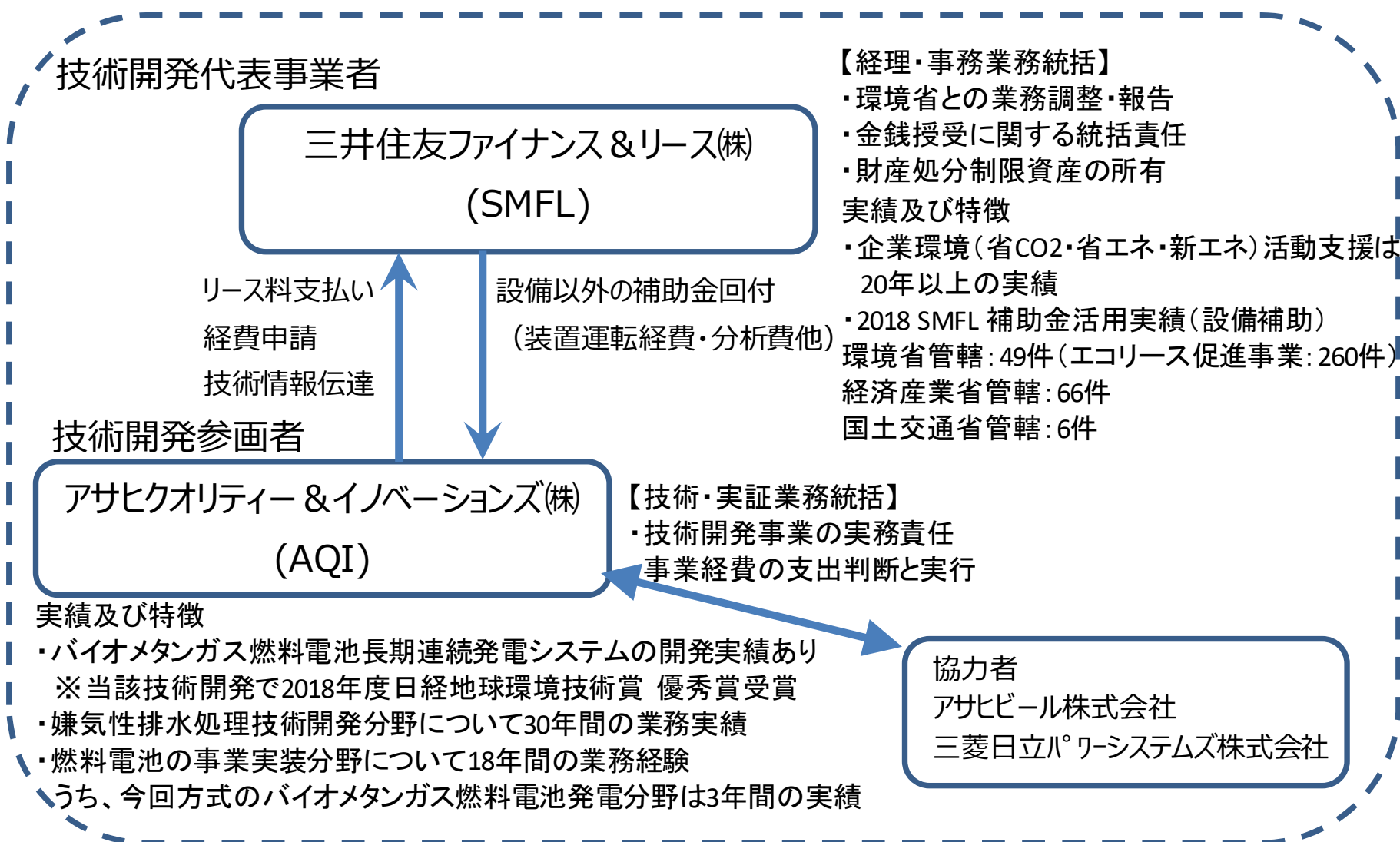
④【開発・実証成果のまとめ】

- 開発・実証の目標及び達成状況：下記の通り。
 - ・被毒物質のS系成分を10ppb未満まで安定的に低下させるプラント開発に成功。
 - ・被毒物質を除去したメタンガスを燃料とするSOFC200kW連続発電に成功。
 - ・社会実装のために、メタンガスと都市ガス自動切替式10,000時間超連続発電に成功。
 - ・メタンガスの発電性能が、都市ガスと遜色無いレベルで運転できている事を確認。
 - ・メタンガスのカーボンニュートラル性もあり、CO₂排出削減率は、約▲90%となった。
- 想定ユーザ・利用価値：以下に示す全てのバイオメタンガス排出事業者で利用可能
食品飲料製造業、農畜産業、公共下水処理場、地域給食センター、ショッピングモール等

§4. 今回の推進体制

本実証事業内容

⑤【推進体制図】



§5. 三年間の事業実施結果

本実証事業内容

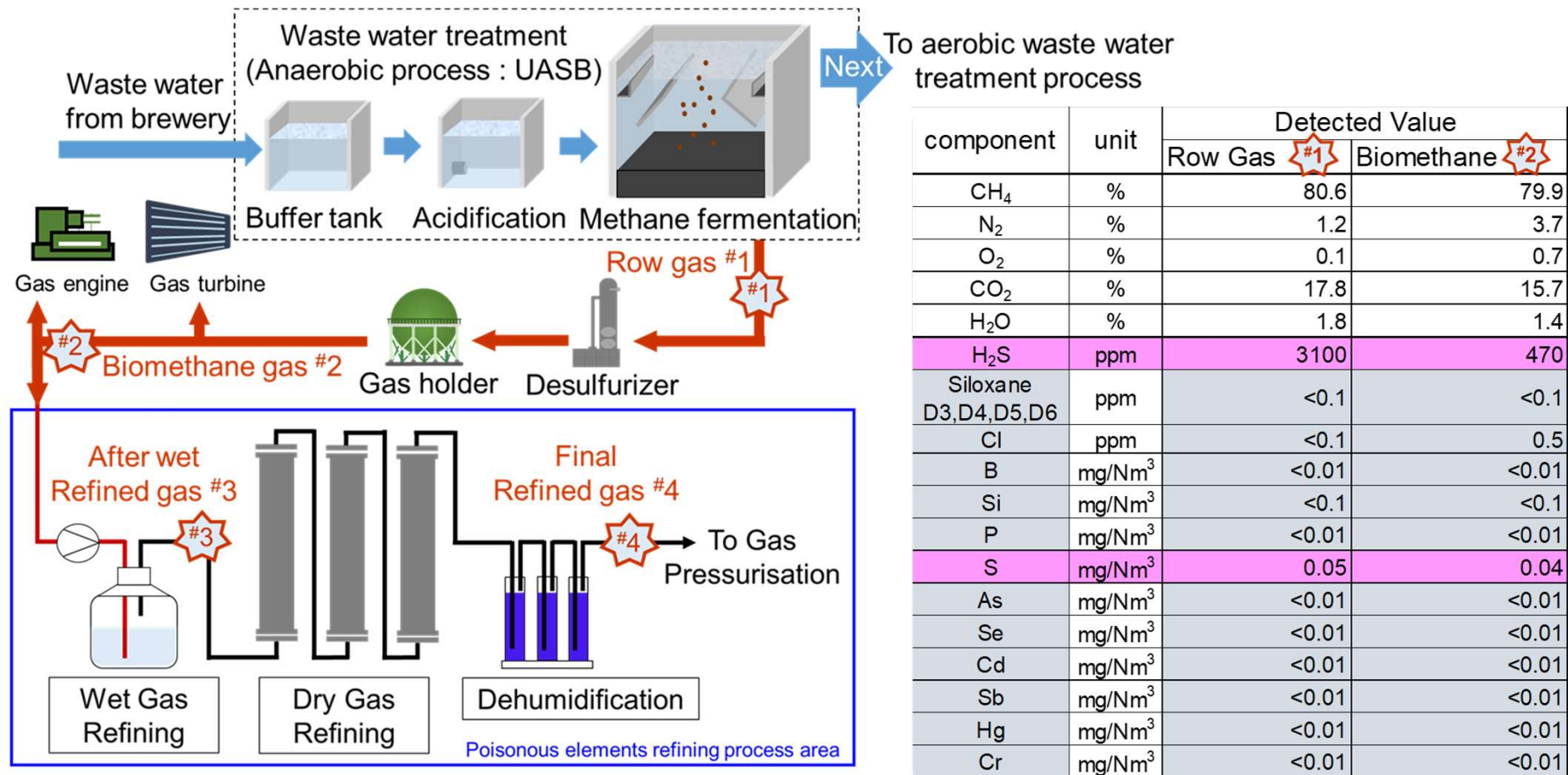
実施機関	技術開発項目	目標	初年度	2年度	最終年度
チーム全体		ビール工場排水処理工程から副生するカーボンニュートラルなバイオメタンガスを高純度に精製後燃料電池で発電し、CO2排出削減と高効率発電を同時に満たすシステム技術開発と実証	↔ :計画 ↔ :実績 ↔ :修正		
アサヒクオリティーアンドイノベーションズ(株)(AQI)	A1	ビール工場排水処理由来バイオメタンガスを燃料電池に適用可能なレベルまで精製し、燃料電池発電が最高効率となるまでシステムを設計・製作・調整する。年間を通じて運転データを得る。 補助金額 95,326千円 対象年度 初年度 本事業費 296,132千円	メタンガス精製供給システム設置 ↔		

§6. 今回開発した技術

本事業前に実施していた内容

1. 被毒物質の特定

工場から出るバイオメタンガス中の被毒物質を網羅的に分析し、被毒物質を絞り込む



⇒ アサヒビール茨城工場のバイオメタンガス中の被毒物質は、S化合物のみであった。

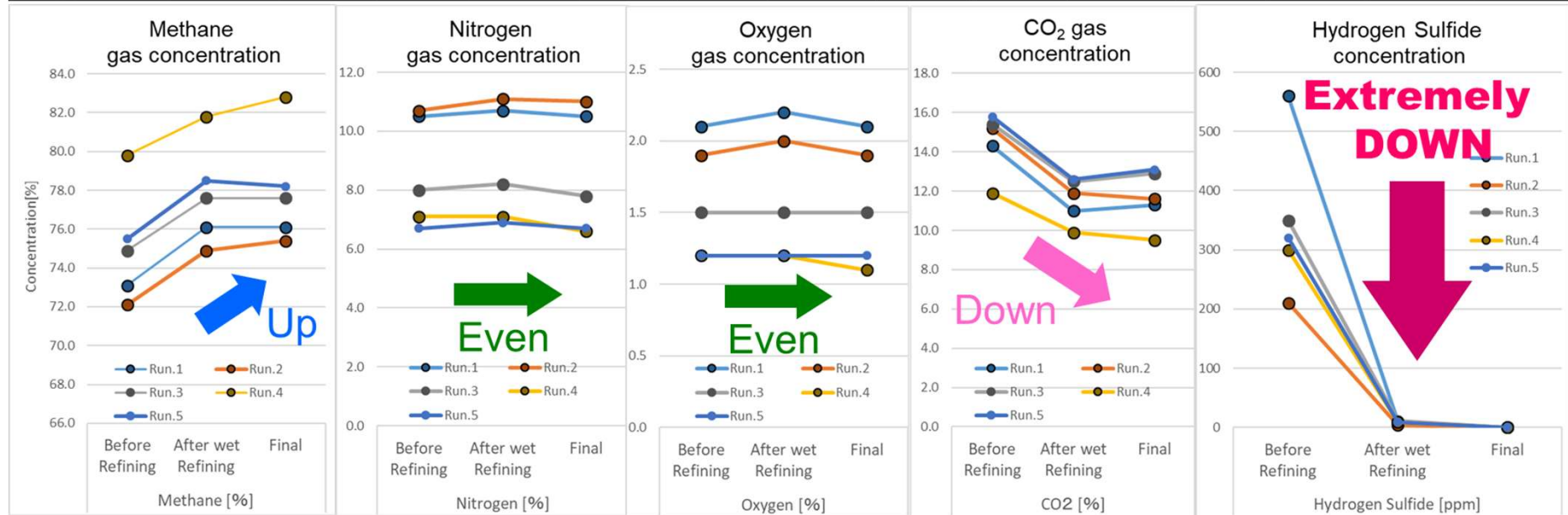
§6. 今回開発した技術

本事業前に実施していた内容

2. 被毒物質の除去性能

Gas composition before and after the refining process

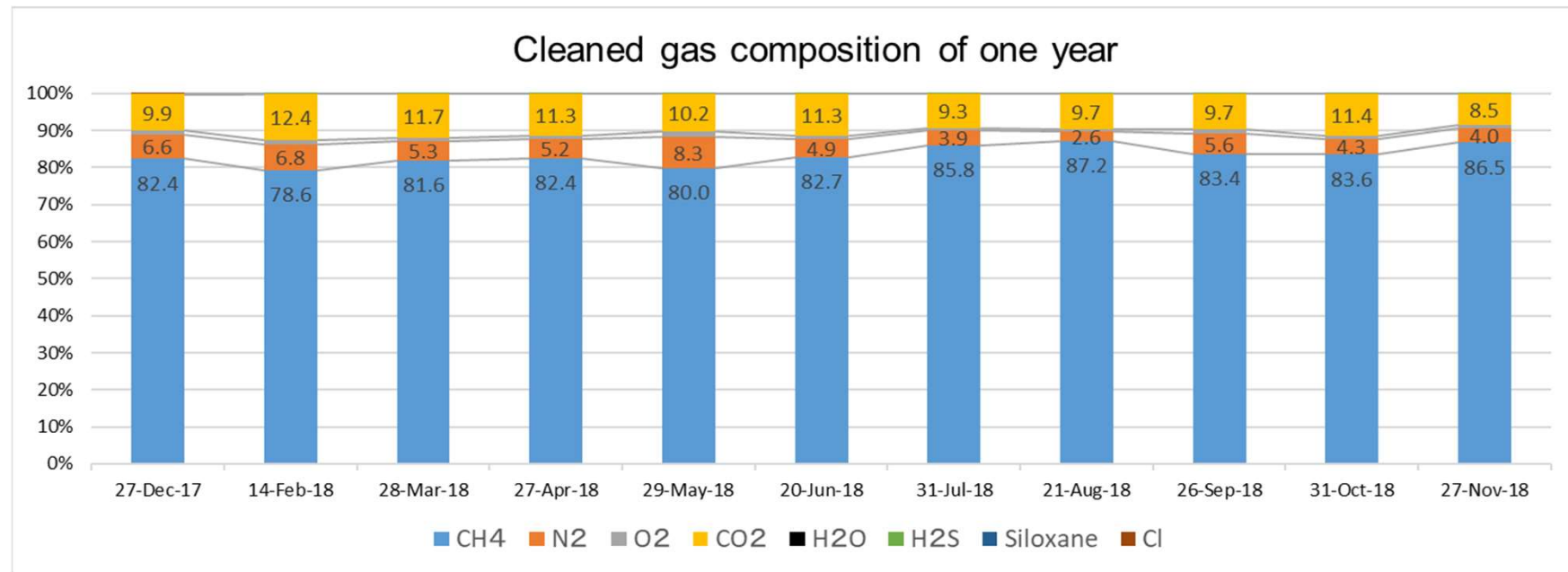
	Methane [%]			Nitrogen [%]			Oxygen [%]			CO ₂ [%]			Hydrogen Sulfide [ppm]		
	Before Refining	After wet Refining	Final	Before Refining	After wet Refining	Final	Before Refining	After wet Refining	Final	Before Refining	After wet Refining	Final	Before Refining	After wet Refining	Final
Run.1	73.1	76.1	76.1	10.5	10.7	10.5	2.1	2.2	2.1	14.3	11.0	11.3	560	9.3	<0.00
Run.2	72.1	74.9	75.4	10.7	11.1	11.0	1.9	2.0	1.9	15.2	11.9	11.6	210	3.8	<0.00
Run.3	74.9	77.6	77.6	8.0	8.2	7.8	1.5	1.5	1.5	15.4	12.5	12.9	350	11	<0.00
Run.4	79.8	81.8	82.8	7.1	7.1	6.6	1.2	1.2	1.1	11.9	9.9	9.5	300	8.6	<0.00
Run.5	75.5	78.5	78.2	6.7	6.9	6.7	1.2	1.2	1.2	15.8	12.6	13.1	320	8.6	<0.00
Average	75.1	77.8	78.0	8.6	8.8	8.5	1.6	1.6	1.6	14.5	11.6	11.7	348.0	8.3	<0.00



§6. 今回開発した技術

本事業前に実施していた内容

3. 年間で組成変化と被毒物質濃度



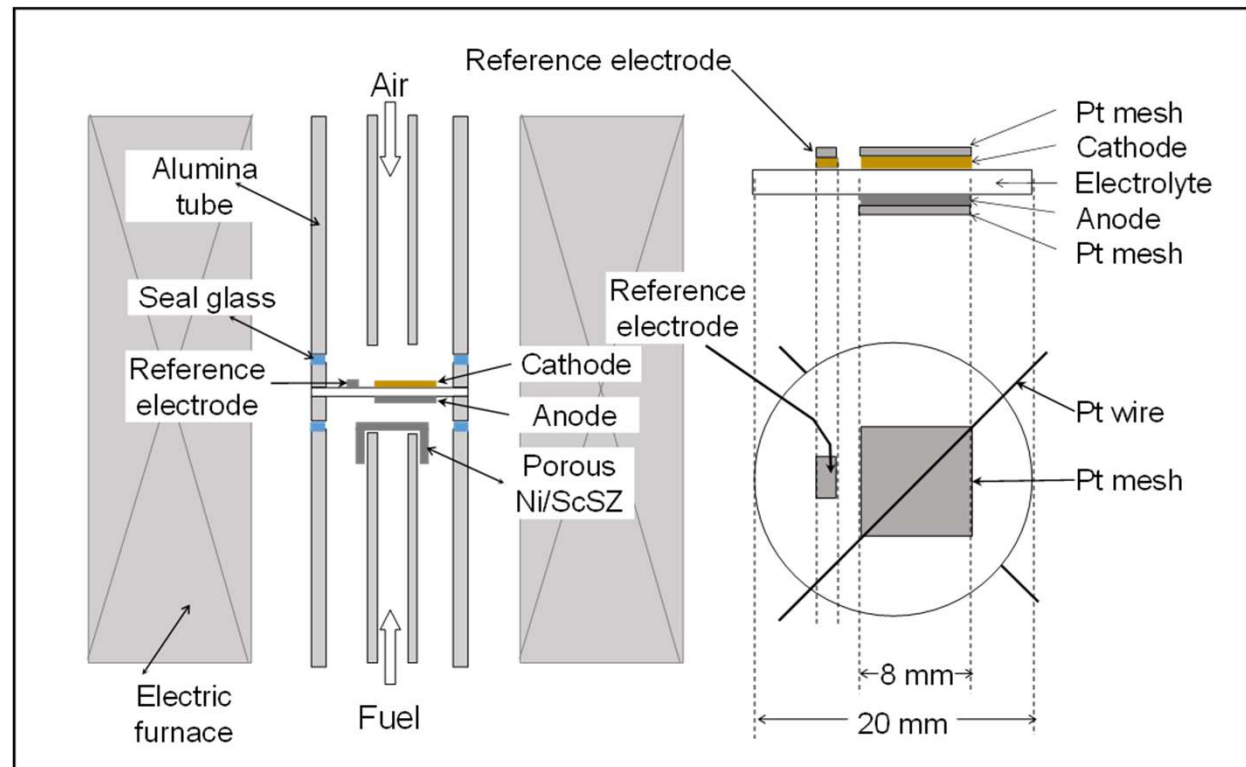
Gas type	unit	27-Dec-17	14-Feb-18	28-Mar-18	27-Apr-18	29-May-18	20-Jun-18	31-Jul-18	21-Aug-18	26-Sep-18	31-Oct-18	27-Nov-18	AVERAGE
CH ₄	[%]	82.4	78.6	81.6	82.4	80.0	82.7	85.8	87.2	83.4	83.6	86.5	83.1±4.3
N ₂	[%]	6.6	6.8	5.3	5.2	8.3	4.9	3.9	2.6	5.6	4.3	4.0	5.2±2.8
O ₂	[%]	1.0	1.2	0.9	0.9	1.5	0.9	0.6	0.4	1.0	0.7	0.7	0.9±0.5
CO ₂	[%]	9.9	12.4	11.7	11.3	10.2	11.3	9.3	9.7	9.7	11.4	8.5	10.5±2.0
H ₂ O	[%]	0.09	0.10	0.10	0.04	0.05	0.08	0.08	0.09	0.05	0.06	0.07	0.07±0.03
H ₂ S	[ppm]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	n.d.
Siloxane	[ppm]	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	n.d.
Cl	[ppm]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	n.d.
Total		100.0	99.1	99.6	99.8	100.0	99.9	99.7	100.0	99.8	100.1	99.8	

⇒年間を通して、精製メタンガスから被毒物質は検出されなかった。

§6. 今回開発した技術

本事業前に実施していた内容

4. ボタンセル発電試験の構造

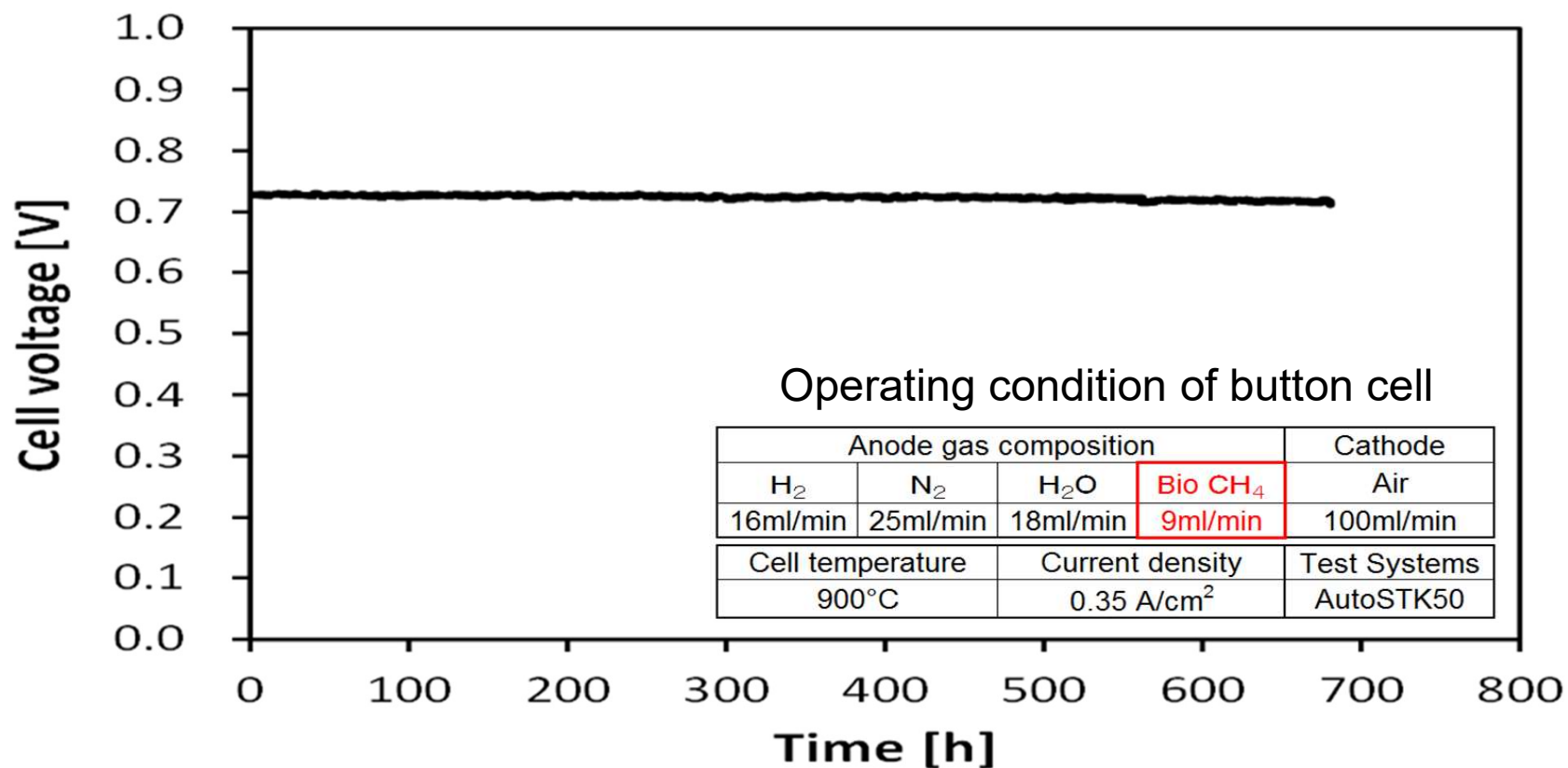


Setup of button cell test

Specification of button cell stack

	Electrode material	Thickness	Sintering temp.
Cathode	50 wt% LSM ($\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$)-50wt% ScSZ	50 μm	1200°C
Electrolyte	ScSZ (10mol%Sc ₂ O ₃ -1mol%CeO ₂ -89mol%ZrO ₂)	200 μm	—
Anode	56 wt% NiO-44 wt% ScSZ	30 μm	1300°C

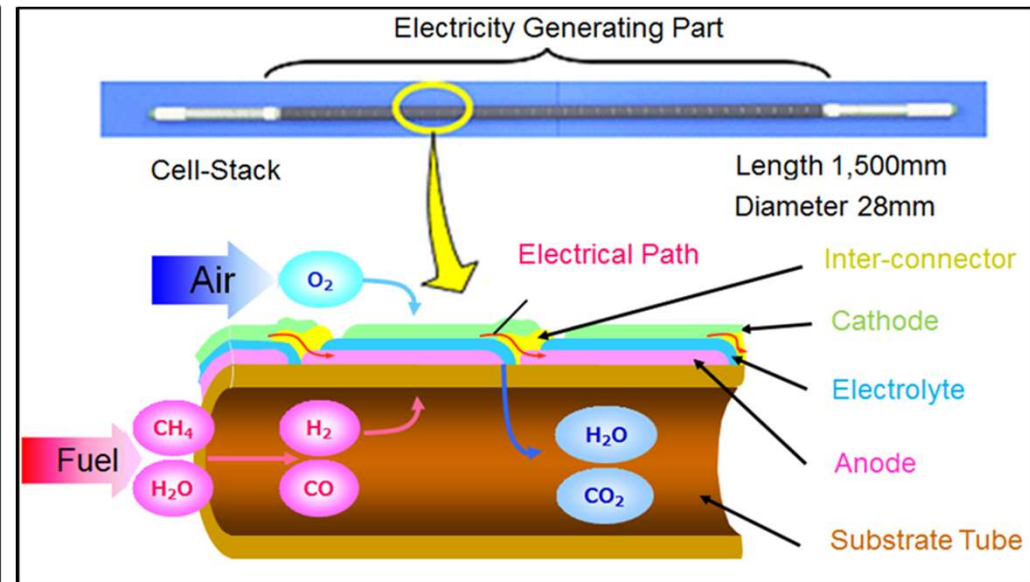
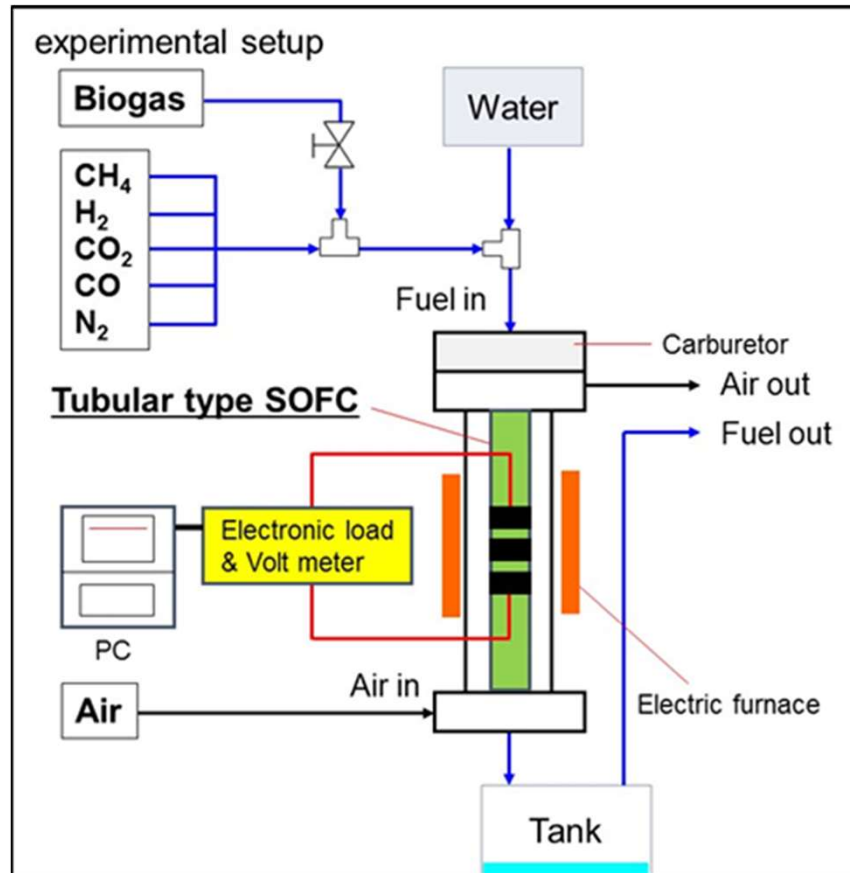
5. ボタンセル発電試験結果（抜粋）



§6. 今回開発した技術

本事業前に実施していた内容

6. 3リングセル発電試験の構造

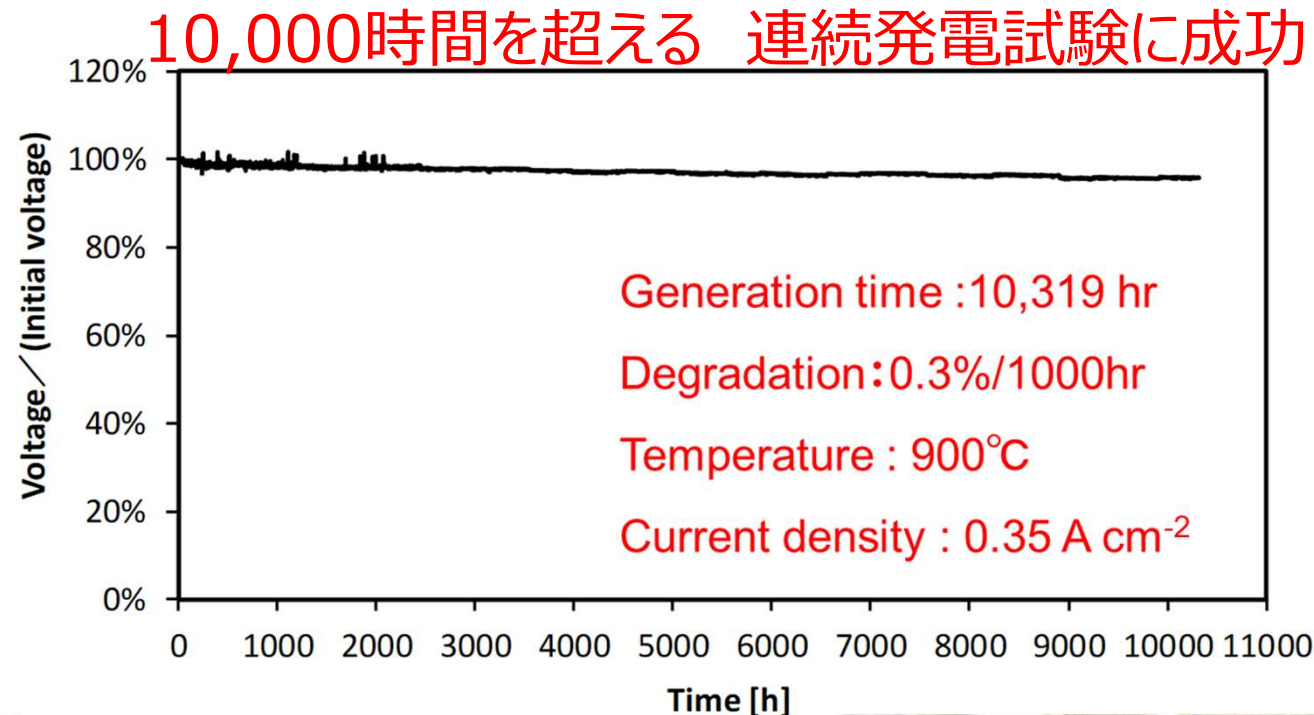


Anode gas composition					Cathode
H ₂	CO ₂	CO	H ₂ O	Bio CH ₄	Air
35ml/min	75ml/min	6ml/min	120ml/min	20ml/min	500ml/min
Cell temperature			Current density		Test Systems
900°C			0.35 A/cm ²		AutoSTK50

§6. 今回開発した技術

本事業前に実施していた内容

7. 3リングセル発電試験結果



発電試験装置



日経地球環境技術賞「優秀賞」

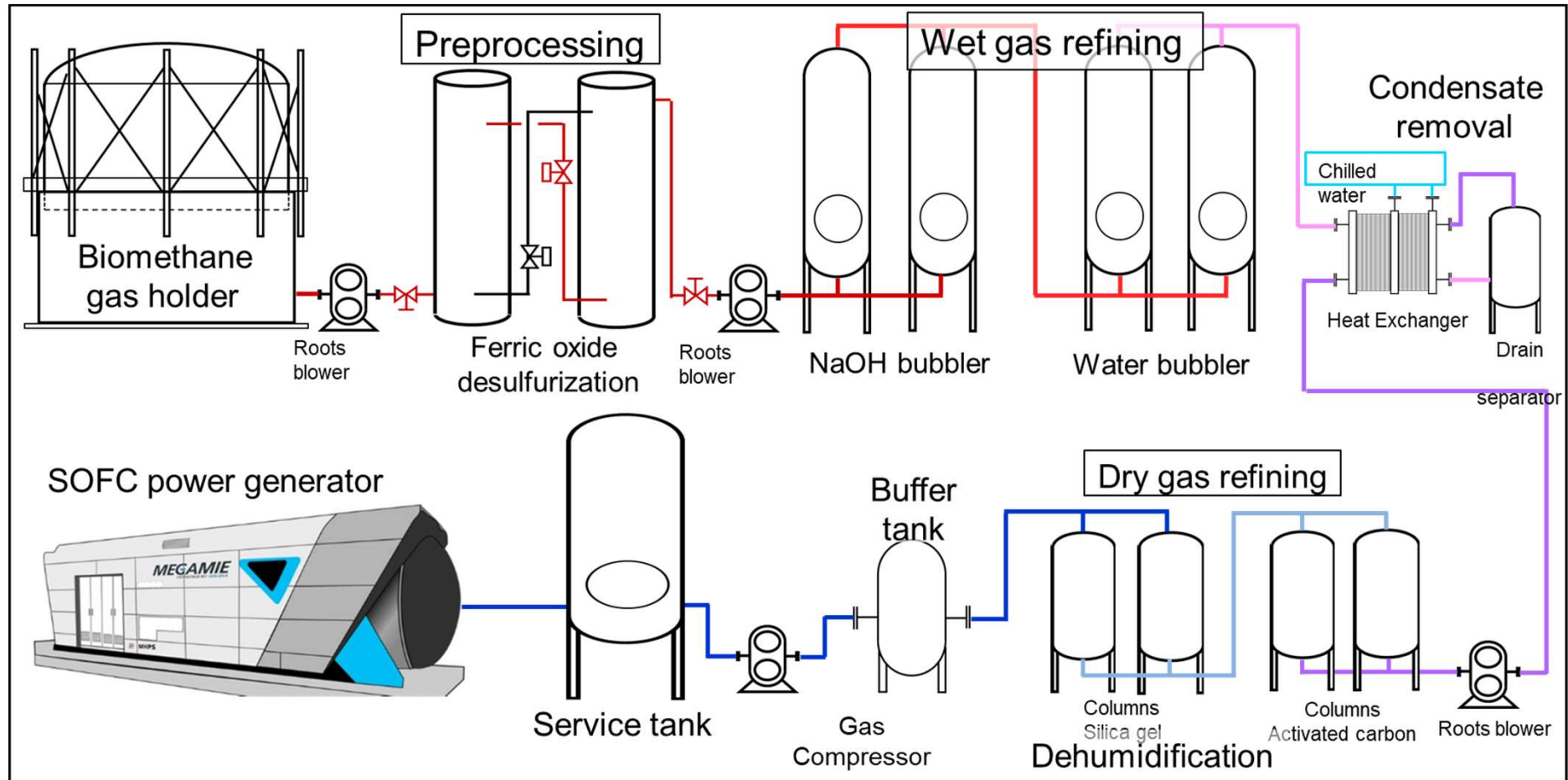


2019年5月8日 10,000時間連続発電成功 記念写真

§6. 今回開発した技術

本実証事業内容

8. 今回建設した200kW向けメタンガス精製プロセス



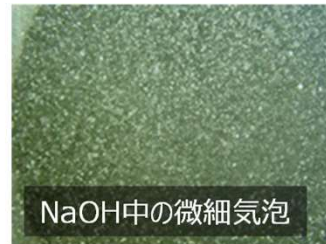
§6. 今回開発した技術

本実証事業内容

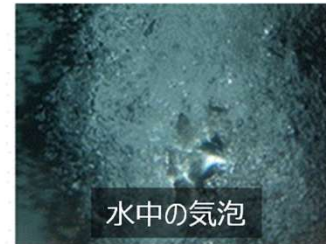
9. 建設したメタンガス精製プロセスの写真など



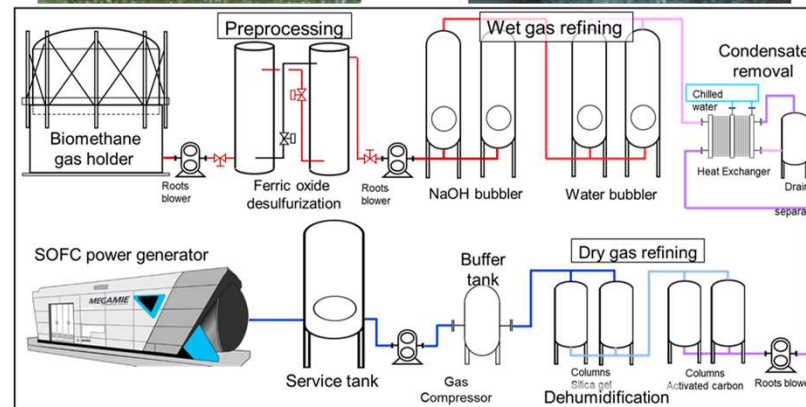
コントロール室



NaOH中の微細気泡



水中の気泡



湿式除去装置(苛性、水)
「微細気泡浮上方式」



メタン供給タンク



ガスコンプレッサー



クッションタンク

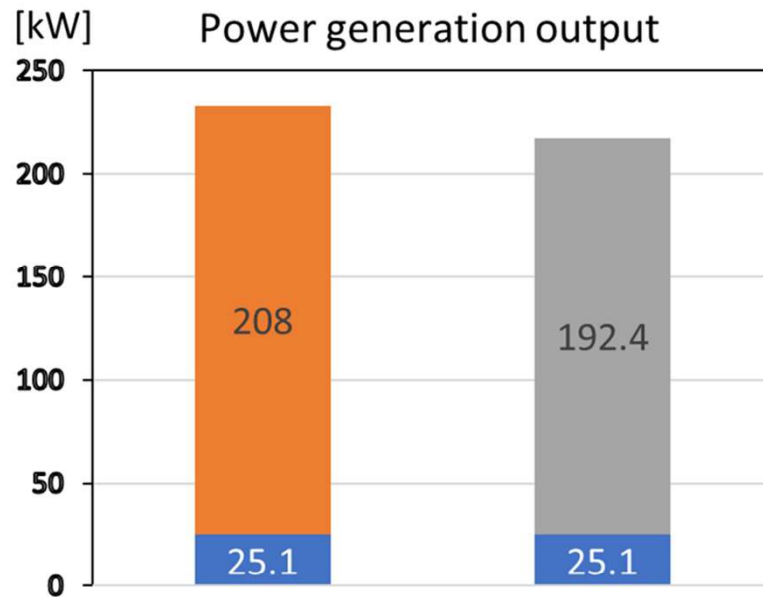


乾式除去装置(活性炭他)

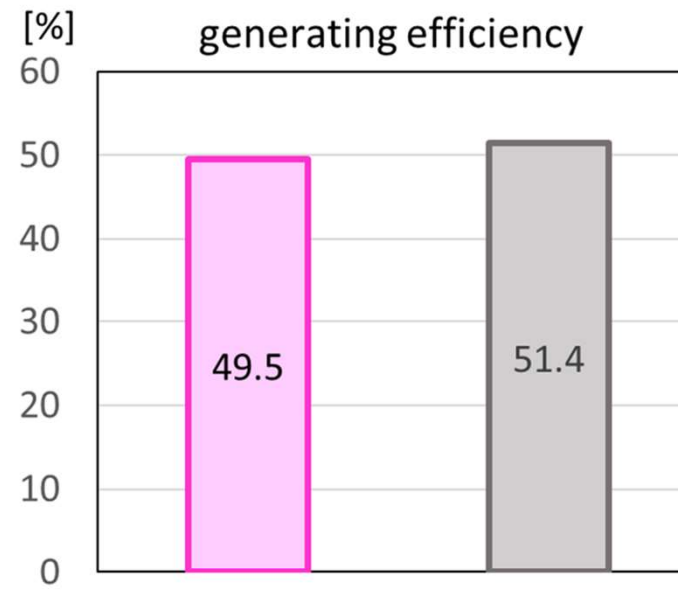
§6. 今回開発した技術

本実証事業内容

10. 都市ガスとメタンガスにおける発電電力と発電効率比較



City Gas
■ MGT Output
■ SOFC Output(city gas)
■ SOFC output(methane)



■ City Gas ■ methane-gas

Principal specifications

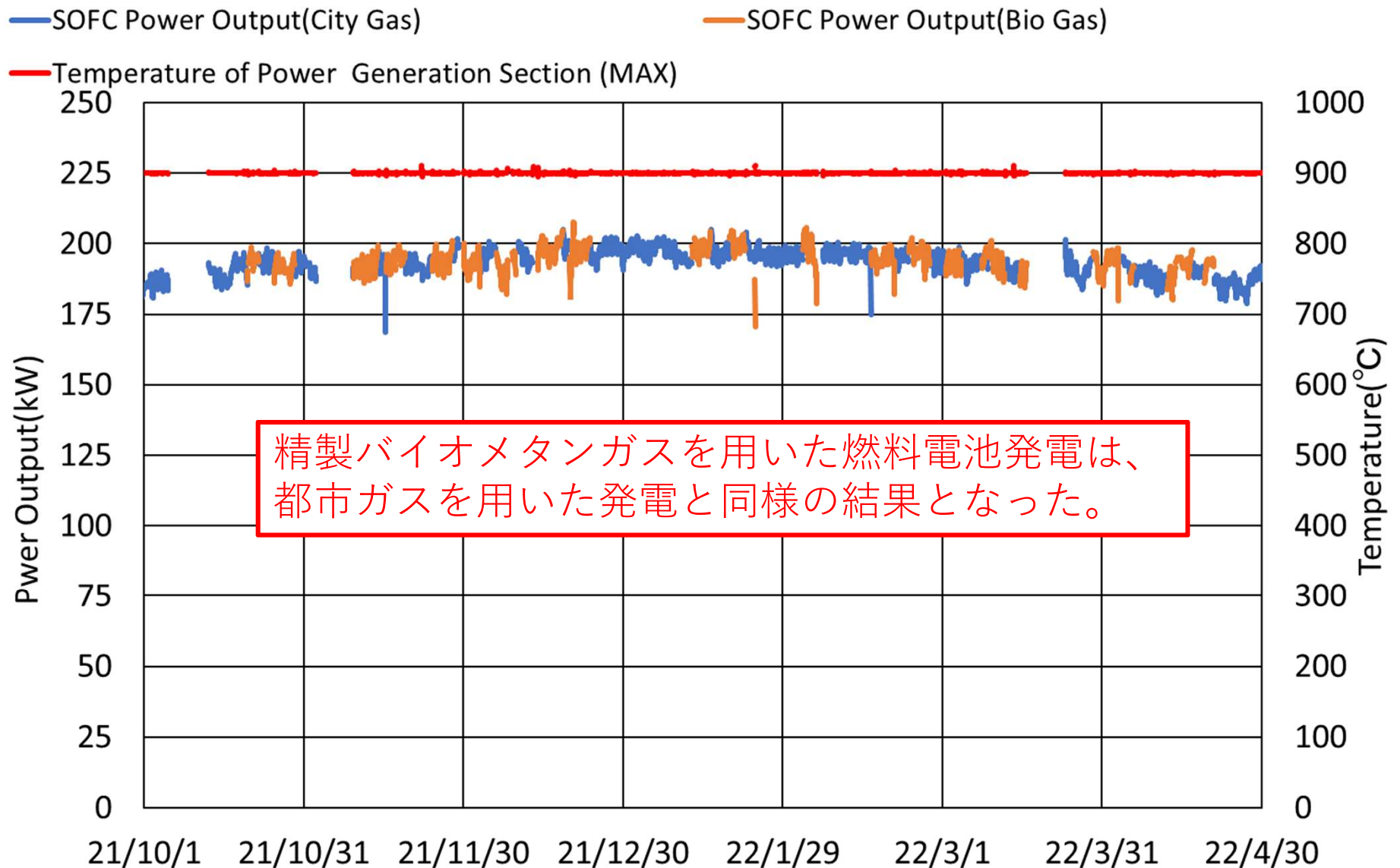
Power generation end output (15°C) : 200kW

Biomethane gas on demand : 60Nm³/hr ,0.8MPa

§6. 今回開発した技術

本実証事業内容

11. 7か月間のメタンガス連続発電結果



本実証事業内容

§7. 外部発表記録

	学会・会合名称 / 演題名		発表日/発表者	発表時間	発表形式
1	FCDIC	第27回燃料電池シンポジウム 『ビール工場排水副生メタンガスを用いた、 S O F C長時間連続発電試験結果と今後の計画』	2020/5/21 川村 公人	25分 (質疑含)	リモート (船堀)
2	EFCF	欧州燃料電池学会 『Demonstration of 200 kW SOFC power generation using cleaned bio-methane gas from wastewater treatment』	2020/10/21 川村 公人	15分 (質疑含)	リモート ルツェルン (スイス)
3	JBA	アルコール・バイオマス研究会 2020年度シンポジウム 「with/afterコロナ時代におけるアルコール・バイオマス産業の展望」 「アサヒオリティーアンドイノベーションズ(株)におけるCO2排出削減技術開発」	2021/3/16 川村 公人	40分 (質疑含)	リモート (東京)
4	FCDIC	第28回燃料電池シンポジウム 『ビール工場排水副生メタンガスを用いた S O F C長時間発電と 200kW級実証装置発電結果』	2021/5/28 川村 公人	25分 (質疑含)	リモート (船堀)
5	化学工学	化学工学会 第52回秋季大会 招待講演 「CO2排出削減へ向けたビール工場における燃料電池活用事例」	2021/9/23 川村 公人	60分 (質疑含)	リモート 岡山
6	つくば科学技術懇話会、MICS 共同講演会 〜つくばの技術を世界実装へ〜 CO2排出削減に向けた具体的技術開発への挑戦		2021/10/18 川村 公人	40分 (質疑含)	リモート (食総研)
7	MBC	The 2021 Master Brewers Conference Development of SOFC Power Generation using Bio-methane Gas from Wastewater Treatment Process of Brewery	2021/10/29 川村 公人	25分 (質疑含)	リモート クリーブランド (米国)
8	COP26	ジャパン パビリオンで発表 Development of SOFC Power Generation using methane Gas from Wastewater Treatment	2021/11/1 川村 公人	30分 (質疑含)	リモート グラスゴー (英国)
9	学術会議	日本学術会議公開シンポジウム テーマ：カーボンニュートラルに向けた熱エネルギー利用の可能性と課題 演題「産業分野のカーボンニュートラル化に求められる熱利用」	2021/11/6 川村 公人	30分 (質疑含)	対面 早稲田大
10	BCOJ	ビール酒造組合技術分科会 2021年次大会 Development of SOFC Power Generation using Bio-methane Gas from Wastewater Treatment Process of Brewery	2021/11/12 川村 公人	25分 (質疑含)	リモート (BCOJ)
11	第122回 SOFC研究会 招待講演 ビール工場でのゼロエミッションへの取り組み バイオガス利用 SOFC の導入		2021/11/16 川村 公人	50分 (質疑含)	リモート (産総研)
12	日本気候リーダーズ・パートナーシップ (JCLP) 依頼講演 第96回 (令和3年12月) ダイアログミーティング		2021/12/21 川村 公人	15分 (質疑含)	リモート 対面 大手町
13	化学工学	化学工学会 第87年会 特別シンポジウム招待講演 2050年 カーボンニュートラルへの道 タイトル『産業分野のカーボンニュートラル化に求められる熱利用技術』	2022/3/15 川村 公人	40分 (質疑含)	対面 (リモート) 神戸大
事業終了後	EBC	Brewers Forum & 38th EBC Congress 口頭発表 Demonstration project to generate carbon-neutral electricity from brewery's wastewater by means of a 200kW fuel cell	2022/5/30 (5/29-6/2) 川村 公人	30分 (質疑含)	対面 マドリード (スペイン)
事業終了後	EFCF	European Fuel Cell Forum 2022 『Results of 200kw SOFC power generation using biomethane gas from wastewater treatment process』	2022/7/8 (7/5-8)	20分 (質疑含)	対面 ⇒ Web ルツェルン (スイス)
事業終了後	コジエ財団	エネルギー高度利用セミナー「カーボンニュートラルとコージェネレーション」 ビール工場排水処理副生メタンガス利用 燃料電池コージェネ発電実証事業について	2022/10/27 2022/11/1	30分	講演収録 録画放映
事業終了後	BCOJ	ビール酒造組合技術分科会 2022年次大会 Demonstration project to generate carbon-neutral electricity from brewery's wastewater by means of a 200kW fuel cell	2022/11/11	25分 (質疑含)	対面 東京 星稜会館
事業終了後	関西大学	客員教授特別講演会 カーボンニュートラルを実現するための技術開発とは	2022/12/9	90分	対面 関西大学

§8. 今回開発した技術の説明

結論

- ビール工場の排水処理工程から副生するメタンガスを精製し、燃料電池で発電する実証試験において、初期の発電性能が設計値を満たしていることが確認され、今後コージェネの一部となり得ると考える。
- ・工場排水メタンガス中の被毒物質を網羅的に分析した結果、被毒物質は硫化水素などのS化合物のみと確認されたため、S化合物を0.01ppm未満まで高度に除去するパイロット精製設備を開発・運転した。
 - ・パイロット精製設備を用いた10,000時間のガス精製において、被毒物質濃度は、全てn.d.だった。
 - ・このガスを使用して、実機と同じ電極で構成された3リングセルを用いた連続発電試験を実施した結果、10,000時間を超える連続発電試験に成功した。
 - ・この時の、燃料電池電極の劣化率は、0.3%/1,000時間と極めて低い値を示した。
 - ・この結果より、200kWスケールの実証設備を設計し、環境省「CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」補助事業の採択を受け、アサヒビール茨城工場内に開発した設備を設置し、2021年冬に連続発電を開始した。そして2022年12月末には、メタンガスと都市ガスで12,000時間の連続発電に成功した。また、メタンガス単独発電の時間も、4,000時間を超える連続発電時時間を記録し続けている。
 - ・発電性能は、都市ガス、メタンガス共に設計能力を満たすことが確認された。
 - ・今後、さらに長時間の運転を継続しながら、電極の劣化をモニターしていく。
 - ・また、この技術が広く社会に実装されるように技術情報を公開し、多くのサイトで小型装置のオンサイト導入に向けた支援を展開することで、この技術が社会実装されることを目指す。

謝辞：本事業は環境省の令和元年度～令和3年度のCO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業「ビール工場排水処理由来高純度バイオメタンガス燃料電池発電システム技術開発実証事業」の補助をいただき実施いたしました。ここに深くお礼申し上げます。

本研究は、九州大学次世代燃料電池産学連携研究センターとの共同研究として開発したものを、三井住友ファイナンス&リース株式会社の御支援をいただき、実施いたしました。

Asahi