

革新的高効率SOFC エネルギーシステムの研究

東京ガス株式会社 基盤技術部
九州大学 NEXT-FC
松崎 良雄

2019年2月1日

■ 背景

- 分散発電のメリットと燃料電池への期待
- 革新的高効率発電
- 革新的脱炭素化発電
- 再生可能エネルギー大量導入に向けたSOC技術の可能性

パリ協定批准国

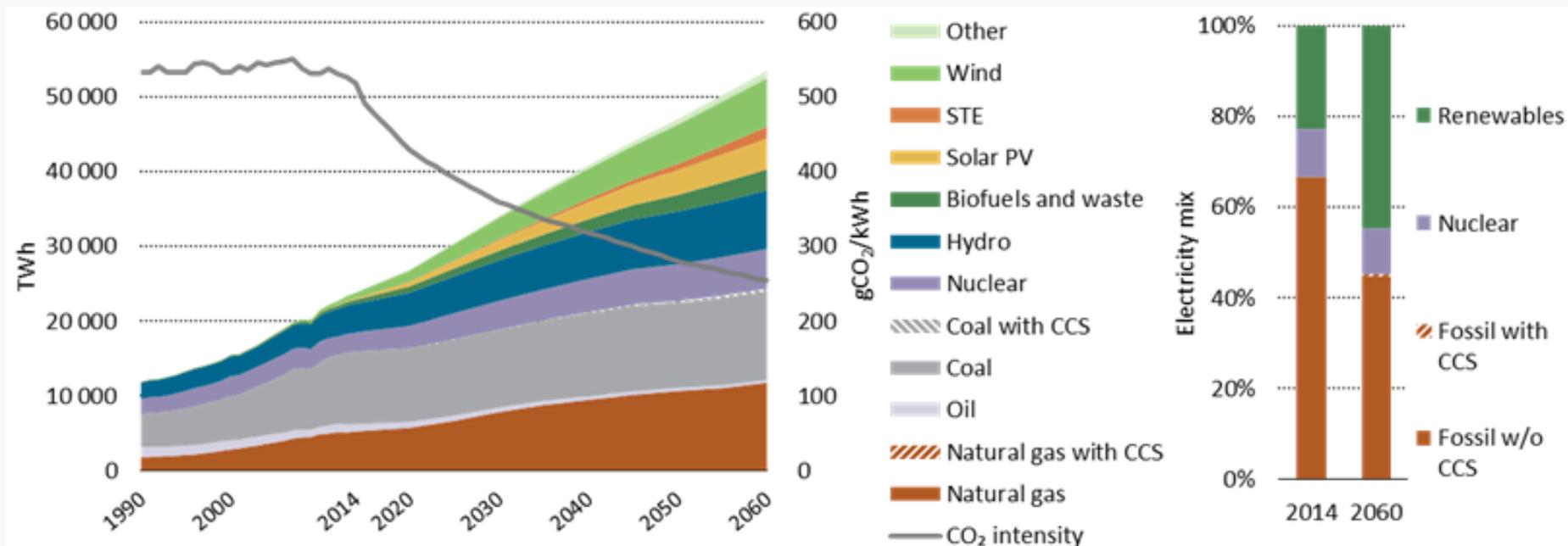
出典: IEA World Energy Outlook 2015



Climate pledges for COP21 are consistent with a temperature rise of 2.7 °C, with investment needs of \$13.5 trillion (13.5兆ドル) in low-carbon technologies & efficiency to 2030

Global Electricity Generation in RTS (パリ協定に基づくレファレンス技術シナリオ)

出典: IEA 「Energy Technology Perspectives 2017 (ETP 2017)」

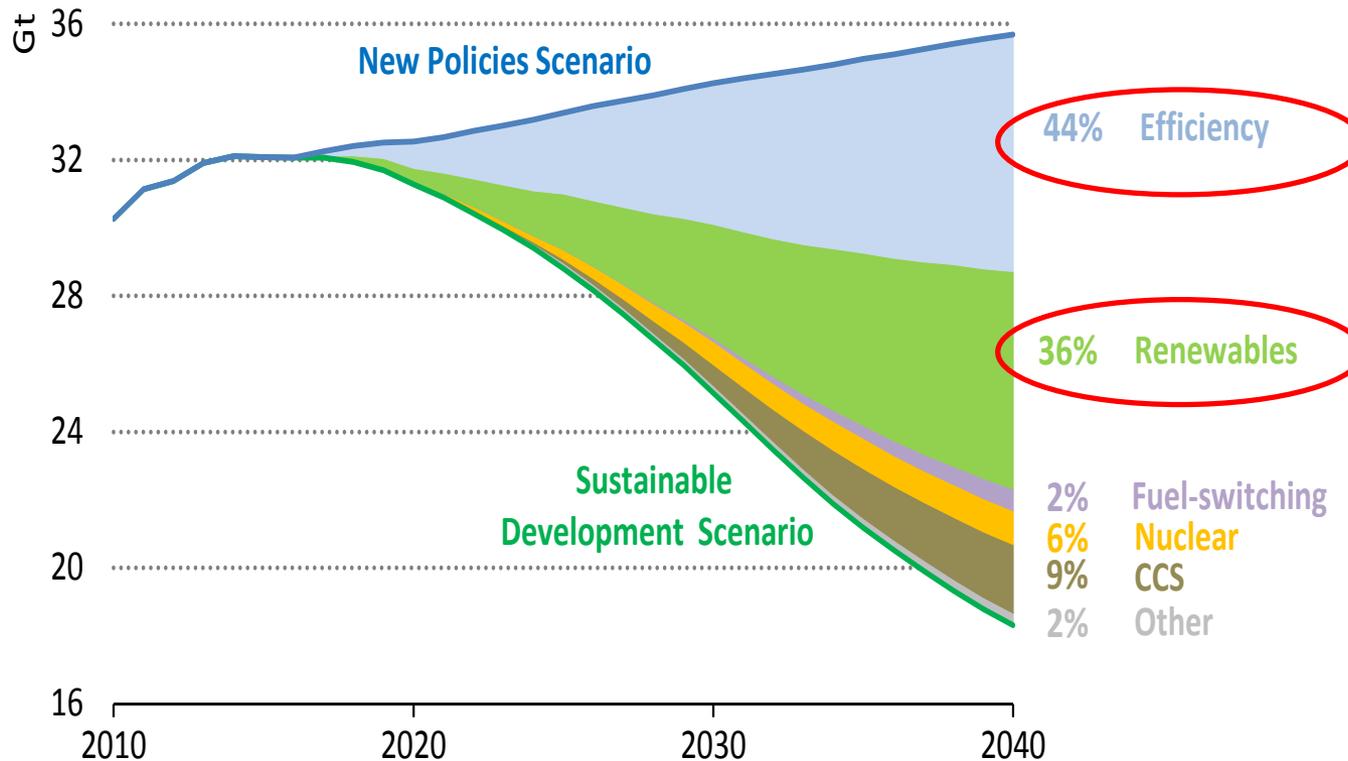


パリ協定の各国目標を積み上げても2060年時点で電源に占める化石燃料の割合は40%超

Global CO₂ emissions reductions in the New Policies and Sustainable Development Scenarios

パリ協定に基づく技術シナリオからさらなるCO₂排出低減の必要性 (持続可能なシナリオへ向けて)

出典: IEA World Energy Outlook 2017



Energy efficiency and renewables account for 80% of the cumulative CO₂ emissions savings in the Sustainable Development Scenario

■ 背景

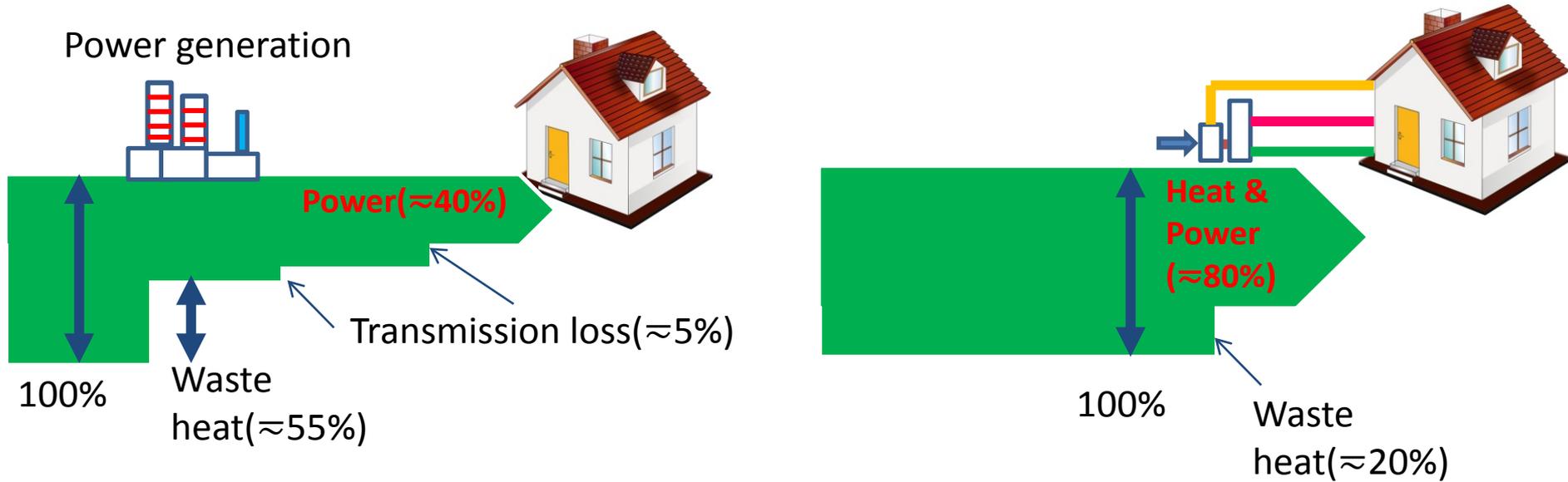
■ 分散発電のメリットと燃料電池への期待

□ 革新的高効率発電

□ 革新的脱炭素化発電

□ 再生可能エネルギー大量導入に向けたSOC技術の可能性

分散発電のメリット



・排熱を需要端で使える

・高い総合効率(電気+熱) ≒ 80%

日本経済新聞

北海道の企業、BCPを見直し 自家発電導入に弾み

北海道経済特集

北海道・東北

2018/12/6 1:00

 保存  共有  印刷    その他▼

北海道によると、公共土木設備や農林水産業への直接的な地震被害総額は2300億円を超えた。さらに全道停電、ブラックアウトによって商工業では売り上げ減が1300億円規模に及んだ。道内の企業や金融機関、農家は災害に備える事業継続計画（BCP）の見直しを進めている。



セイコーマート 北大店

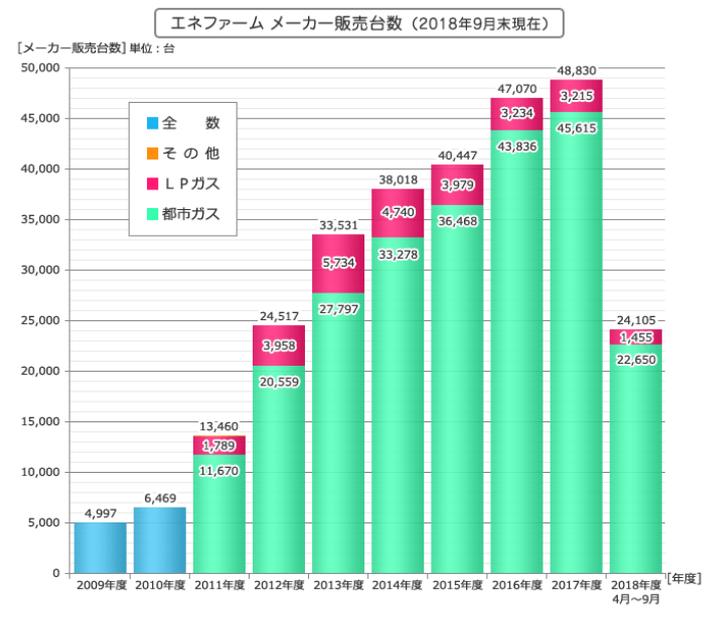
- ・業務用3kWSOFC設置
→ ブラックアウト時も電力供給継続

家庭用燃料電池 (エネファーム)

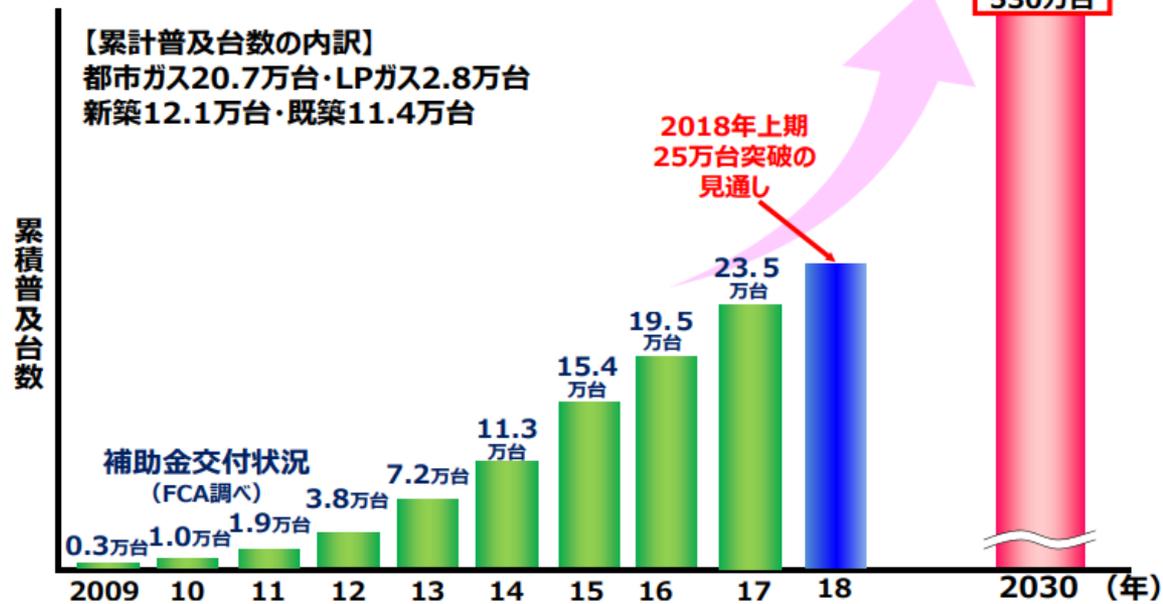
	Panasonic PEFC	AISIN SOFC
Type of gas	NG (town gas), propane gas	NG (town gas), propane gas
Rated power output	200-700 W	50-700 W
Power generation Efficiency(LHV)	39 %	52 %
Efficiency of heat recovery(LHV)	56 %	35 %
Tank volume	140 L	28 L
External View	 <p>https://home.tokyo-gas.co.jp/living/enefarm/specific/index.html</p>	 <p>https://home.tokyo-gas.co.jp/living/enefarm/specific/index.html</p>

エネファーム販売台数の推移

エネファームメーカー販売台数

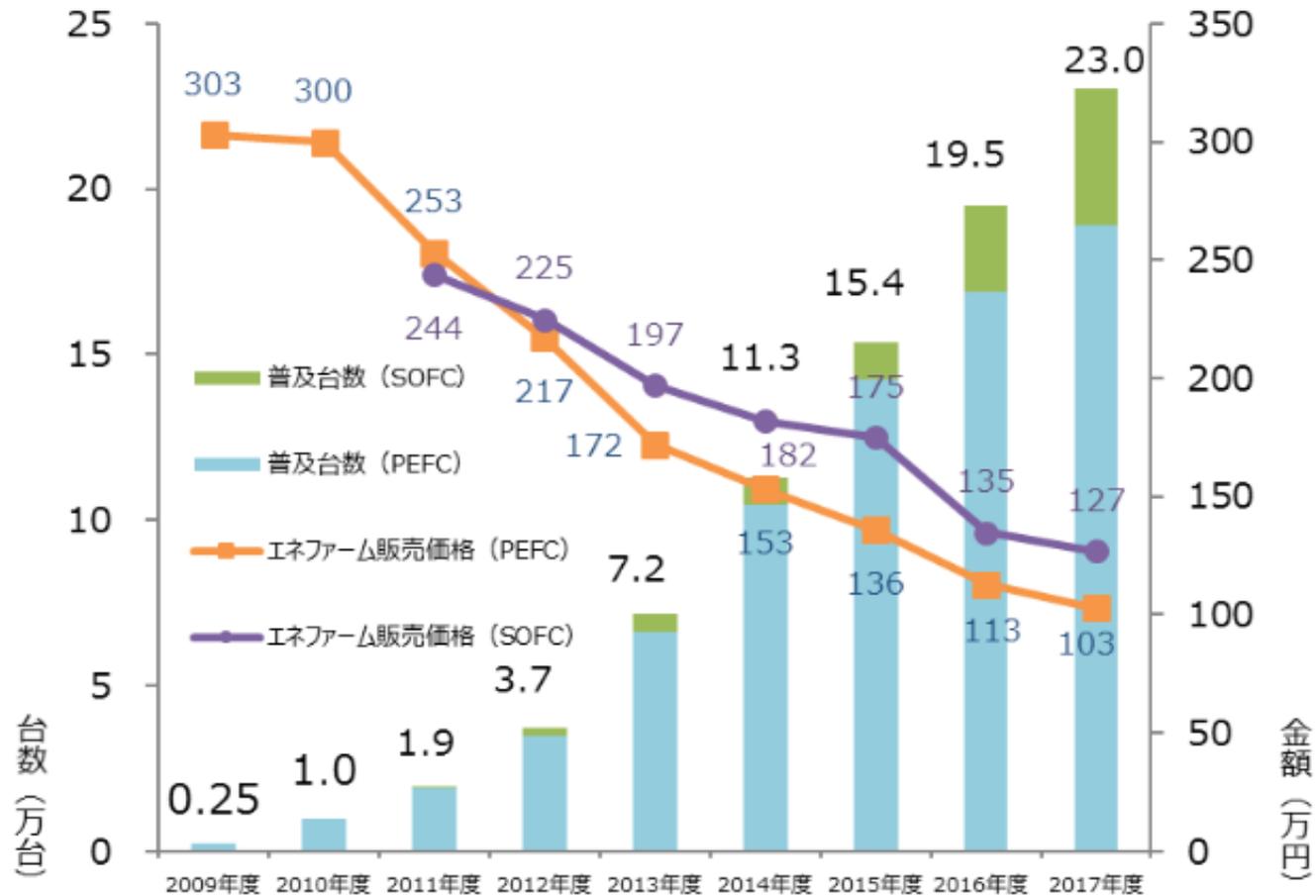


出典: コジェネ財団



出典: 日本ガス協会

エネファームの価格・台数の推移



資源エネルギー庁作成 ※2017年12月末現在

<http://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/suiso.html>

持続的共進化地域創成拠点



DENSO
5kW級



日立造船
20kW, 50%



MHPS
250kW, 55%



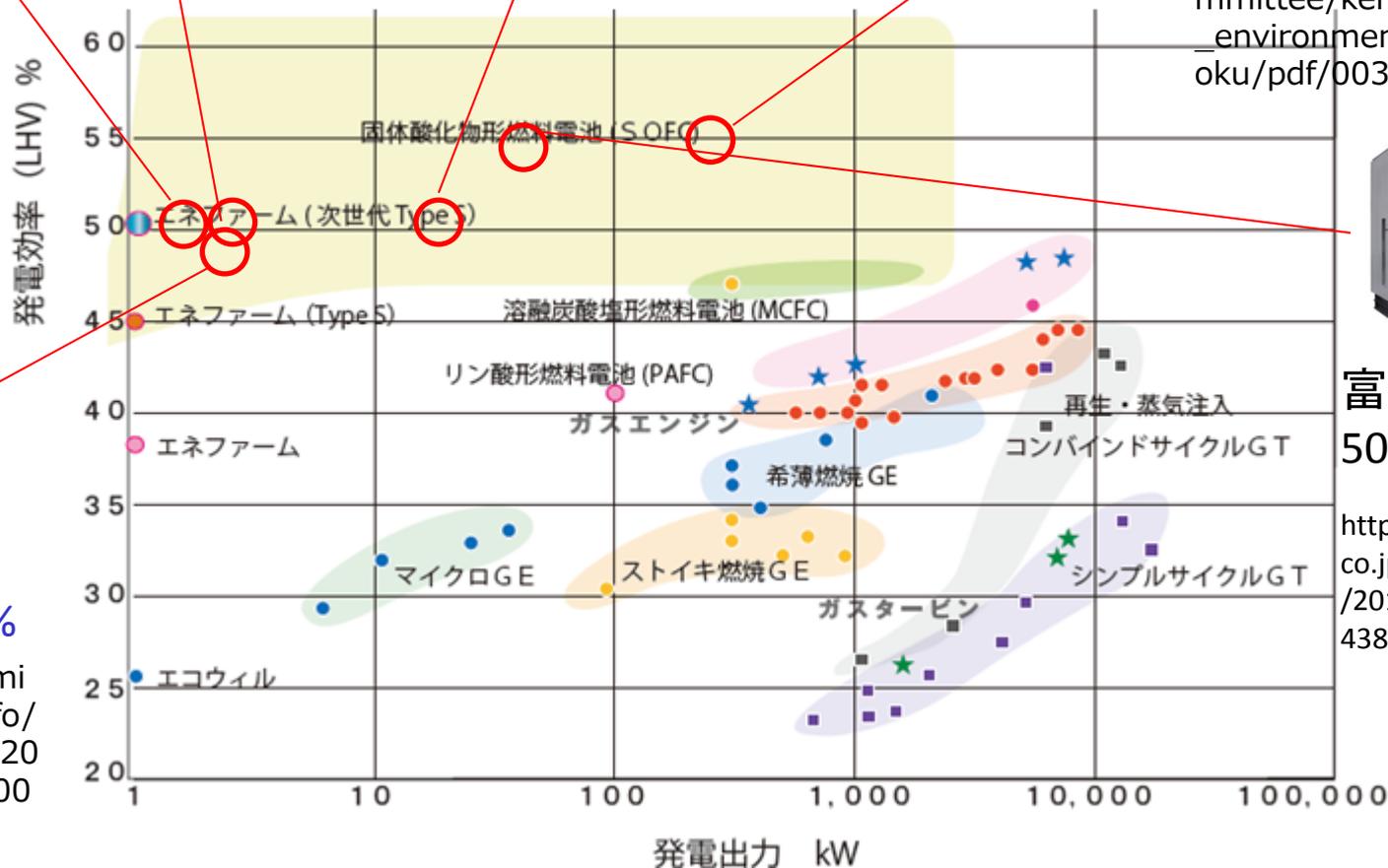
http://www.meti.go.jp/commitee/kenkyukai/energy_environment/jisedai_karyoku/pdf/003_01_00.pdf

京セラ
3kW級, 52%

https://www.kyocera.co.jp/news/2017/0605_ipfa.html

https://www.nedo.go.jp/news/press/A5_100496.html

<http://www.hitachizosen.co.jp/technology/sofc/demo-test1211.html>



三浦工業
4.2kW, 48%

<http://www.miuraz.co.jp/info/newsrelease/2017/08/07/1500.html>



富士電機
50kW, 55%目標

<https://www.fujielectric.co.jp/about/news/detail/2018/20180510093004438.html>

■ 背景

■ 分散発電のメリットと燃料電池への期待

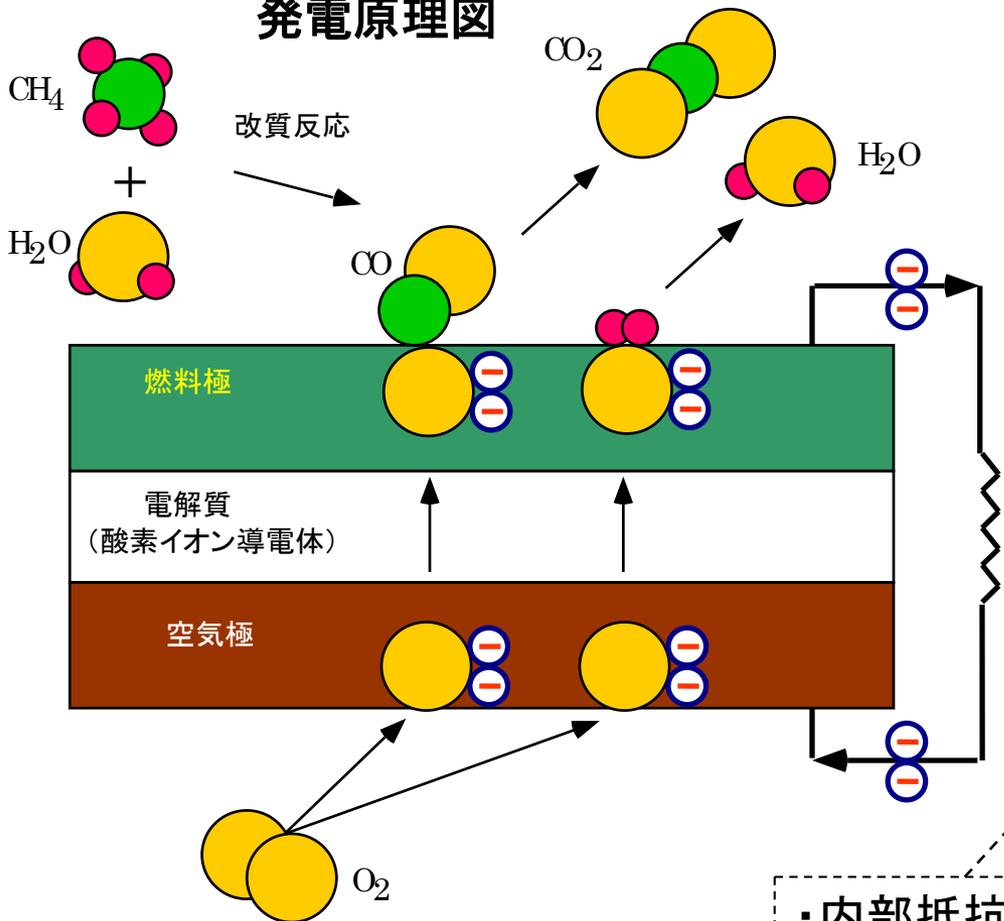
■ 革新的高効率発電

□ 革新的脱炭素化発電

□ 再生可能エネルギー大量導入に向けたSOC技術の可能性

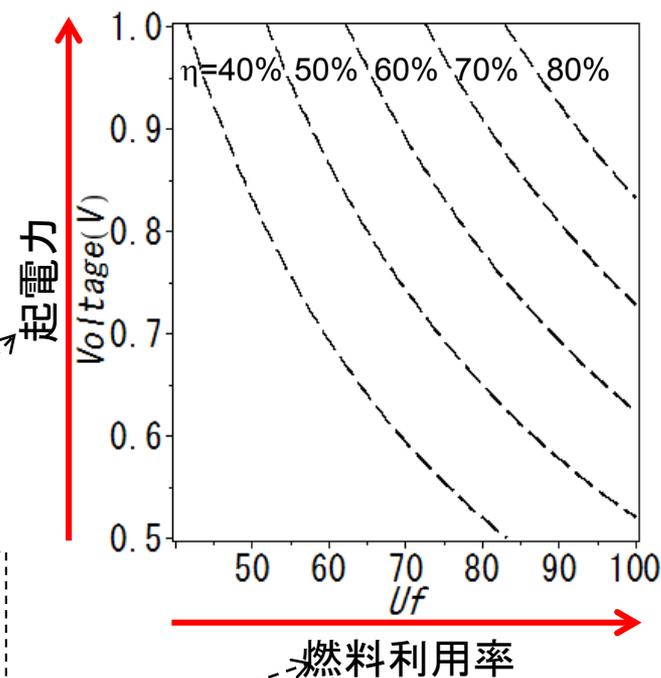
SOFCの効率化のポイント

発電原理図



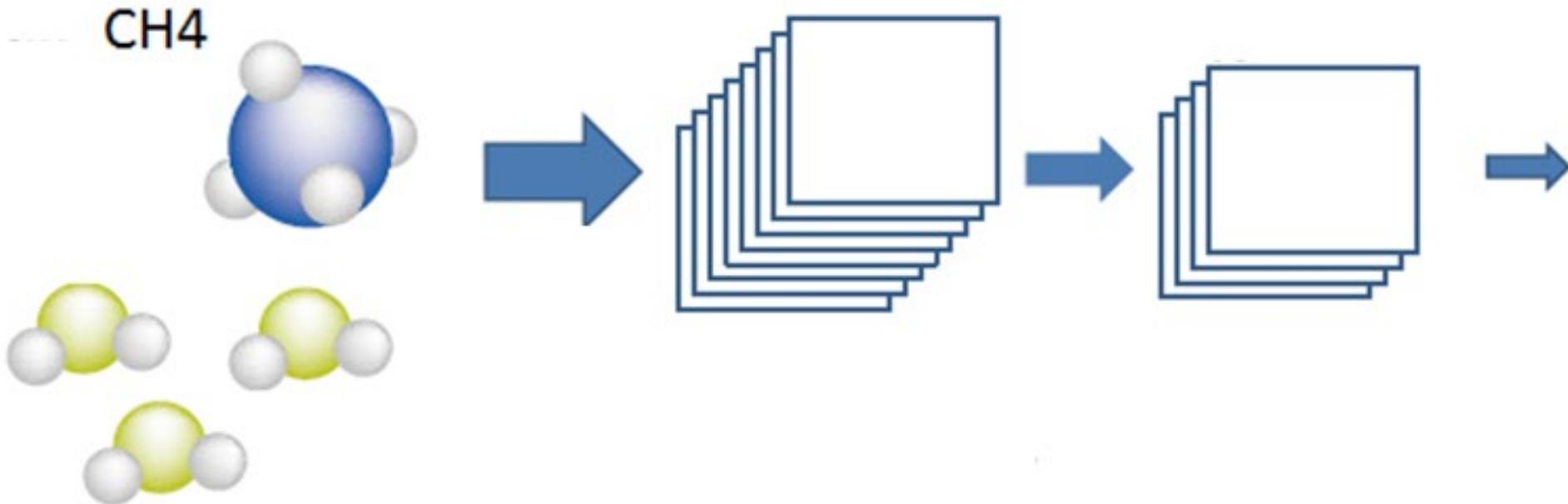
高効率化のポイント

- ①より少ない燃料で(省燃料)
→高燃料利用率
- ②より高い電気出力を
→高起電力



高効率化への
主なアプローチ

- ・内部抵抗低減
- ・燃料再生
- ・リサイクル
- ・多段化

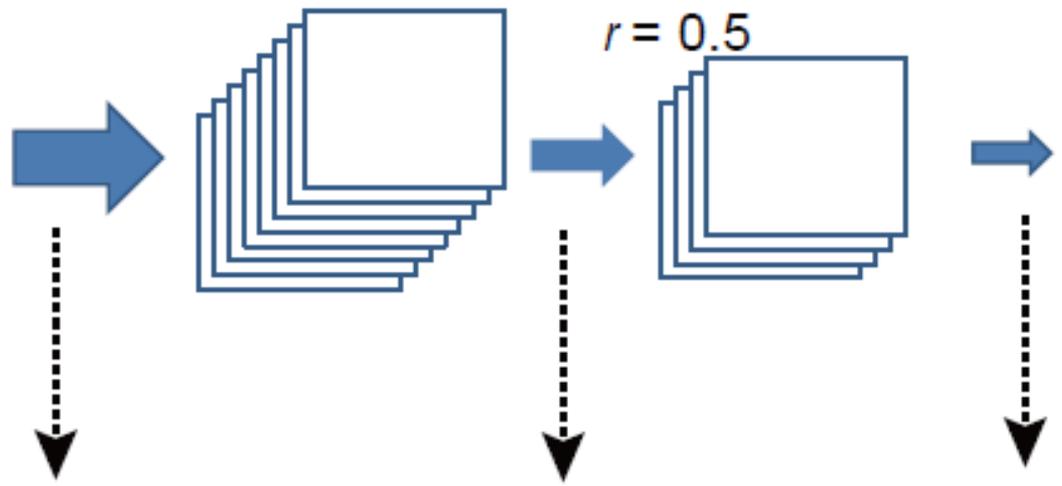
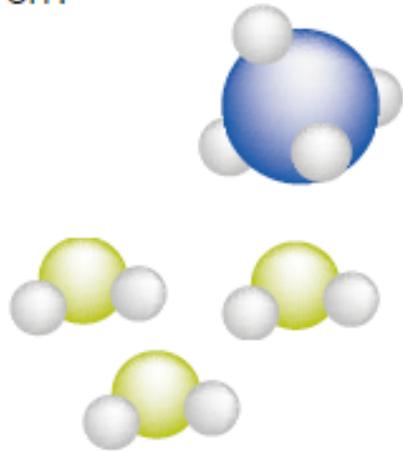


燃料カスケード利用のメリット

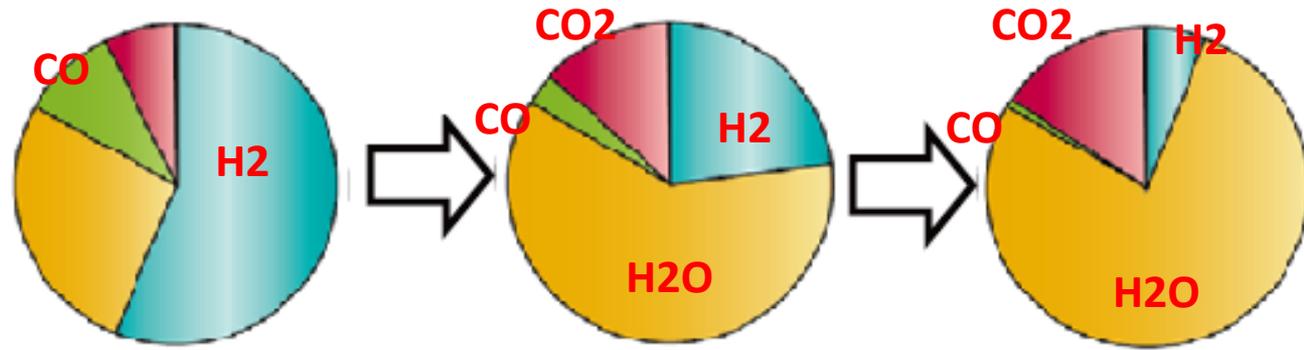
→ 一つのスタックでは使い切れない燃料を有効に発電に利用

従来電解質(ジルコニア系)の場合

CH₄
 $J_{CH_4} = 0.01 \text{ mol/sec}$



- H₂
- H₂O
- CO
- CO₂
- CH₄

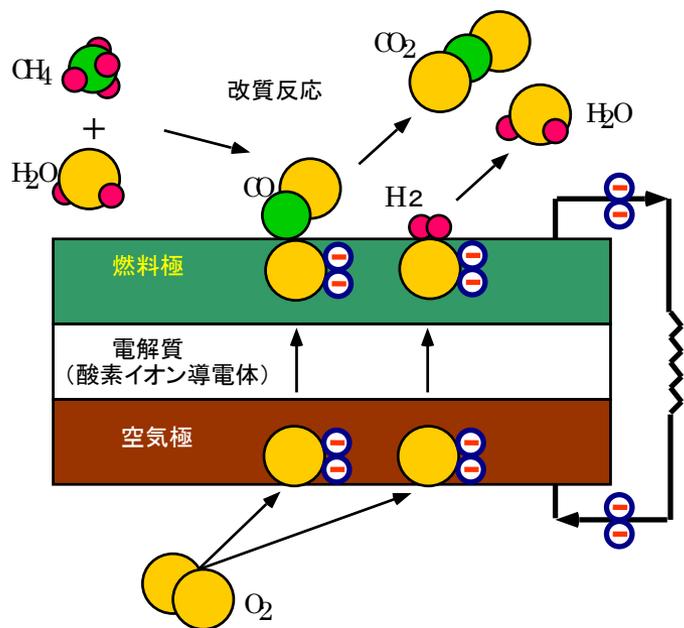


次世代セルによる革新的高効率化の可能性

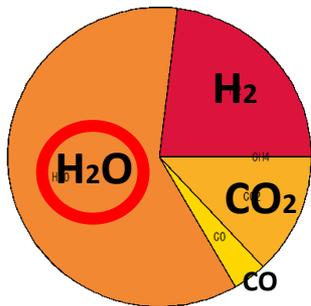
従来タイプ

燃料側で燃料が燃焼(酸化)

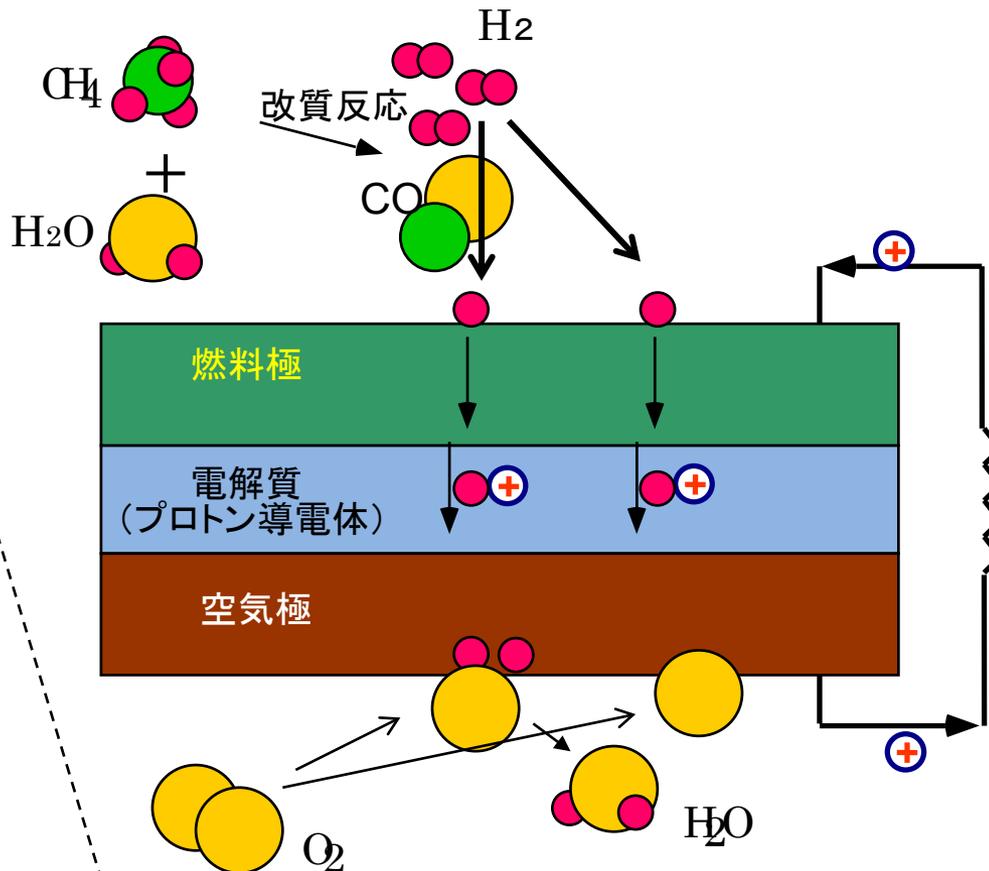
発生H₂Oによる燃料希薄化



前段スタック出口の
燃料組成
(H₂Oによる希薄大)



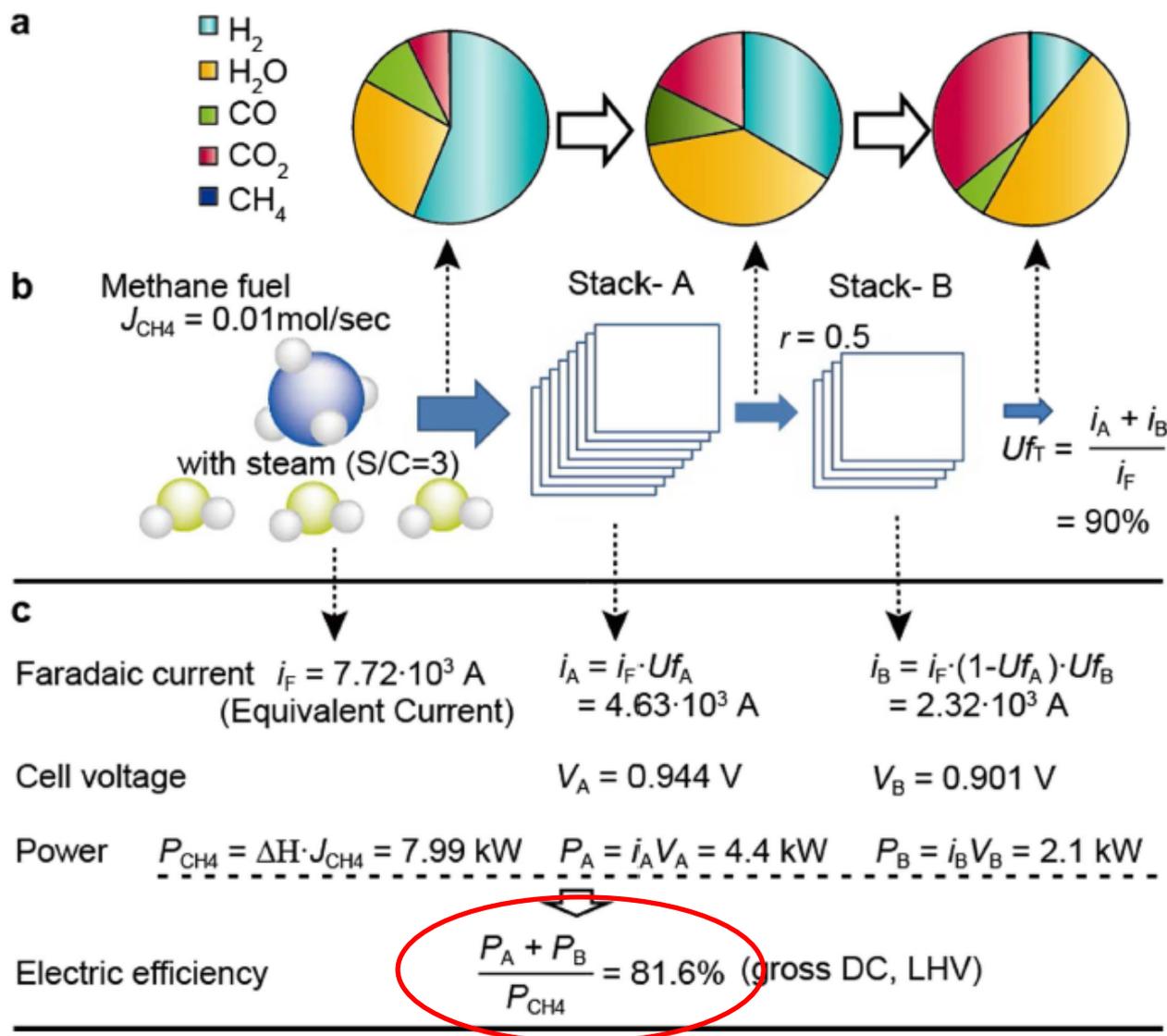
次世代タイプ



空気側で燃料が燃焼(酸化)

燃料希薄化されにくい

本研究での革新的高効率発電システムの概念図 (燃料のカスケード利用と新規電解質の組合せ)



材料

- 電解質材料としてのポテンシャル評価
- 性能と化学安定性の両立

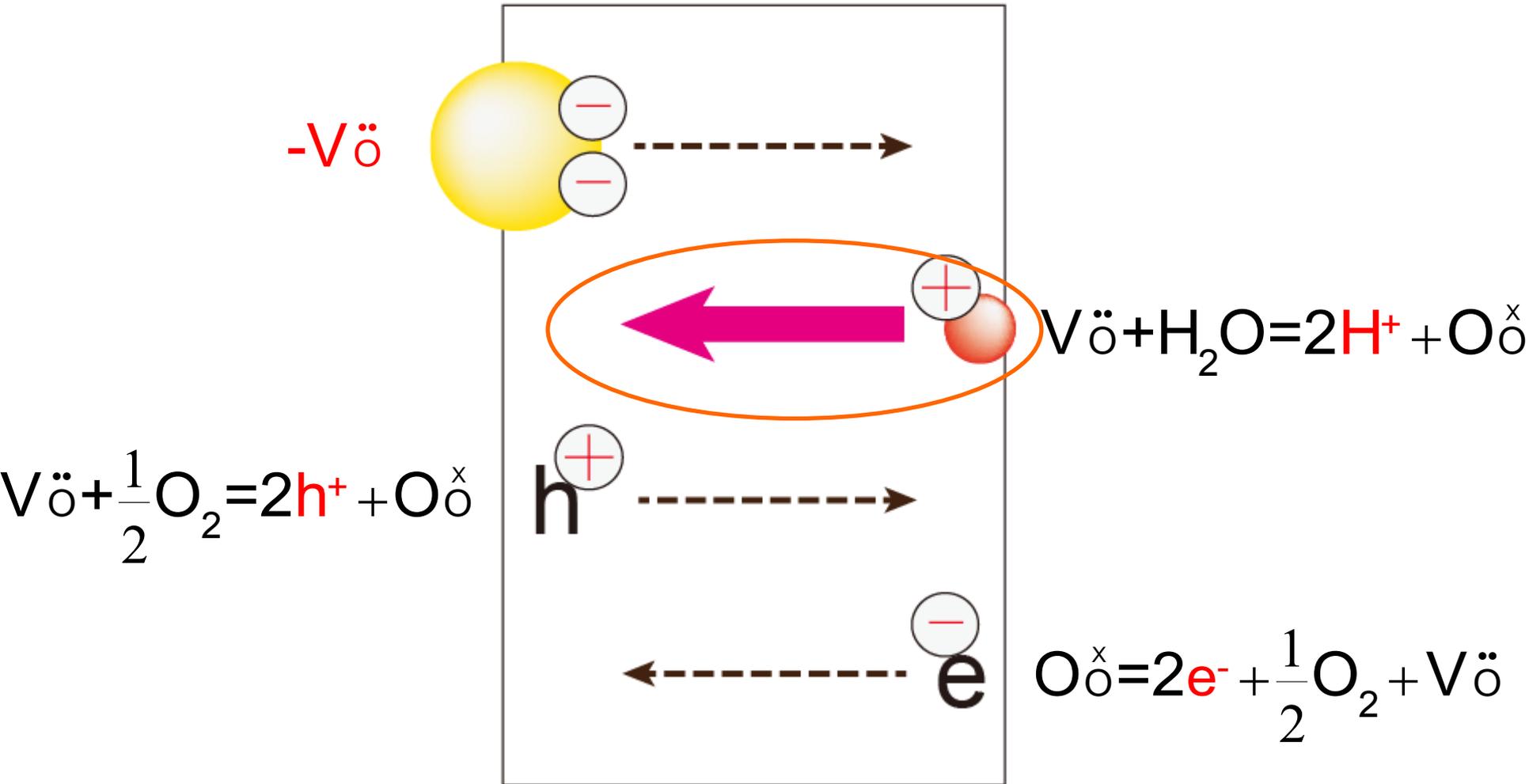
セル

- セル化技術
- 2層化によるリーク電流の低減
- 電極過電圧低減(高活性化)

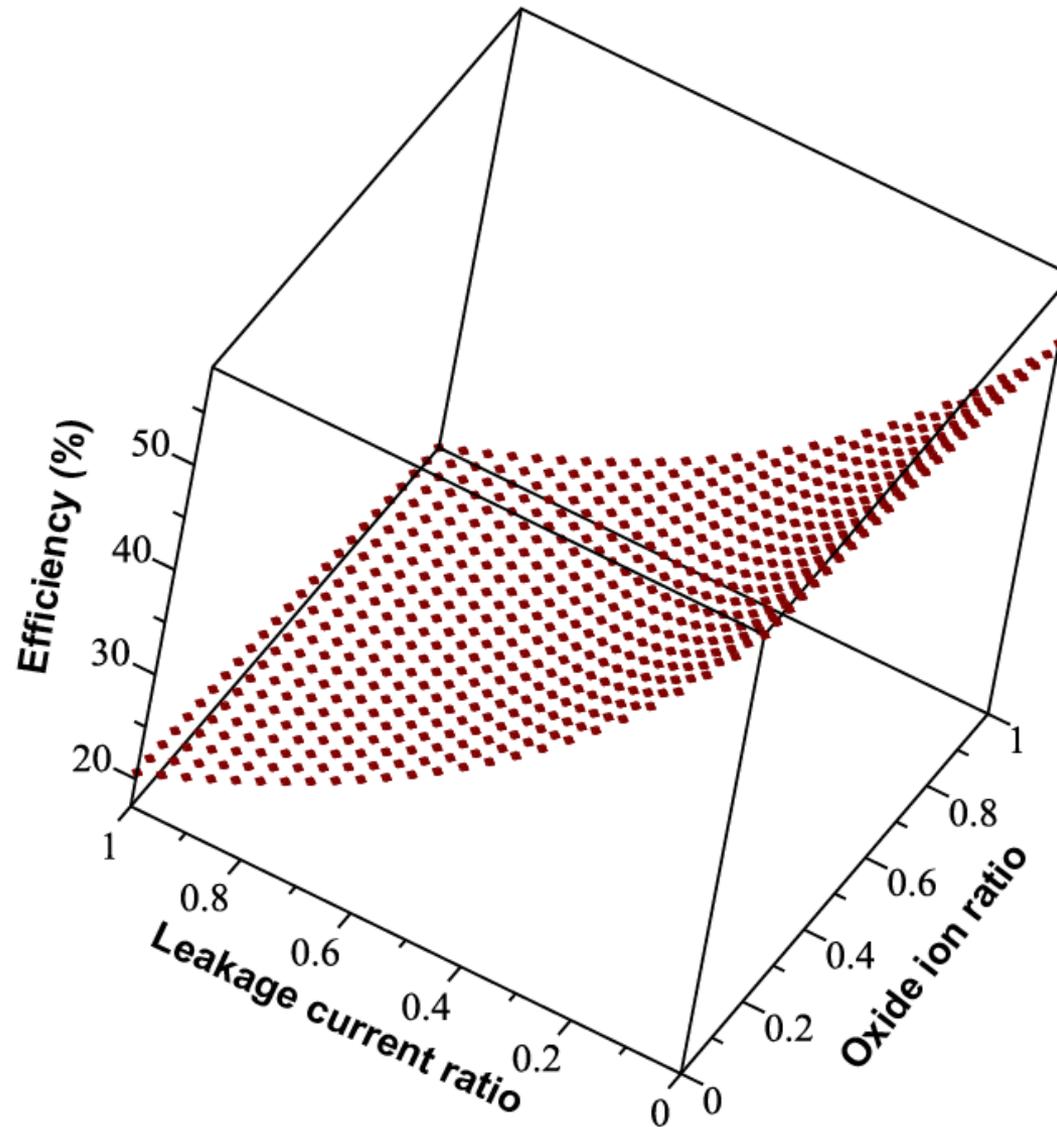
プロトン導電性酸化物電解質 における混合導電性

Air side

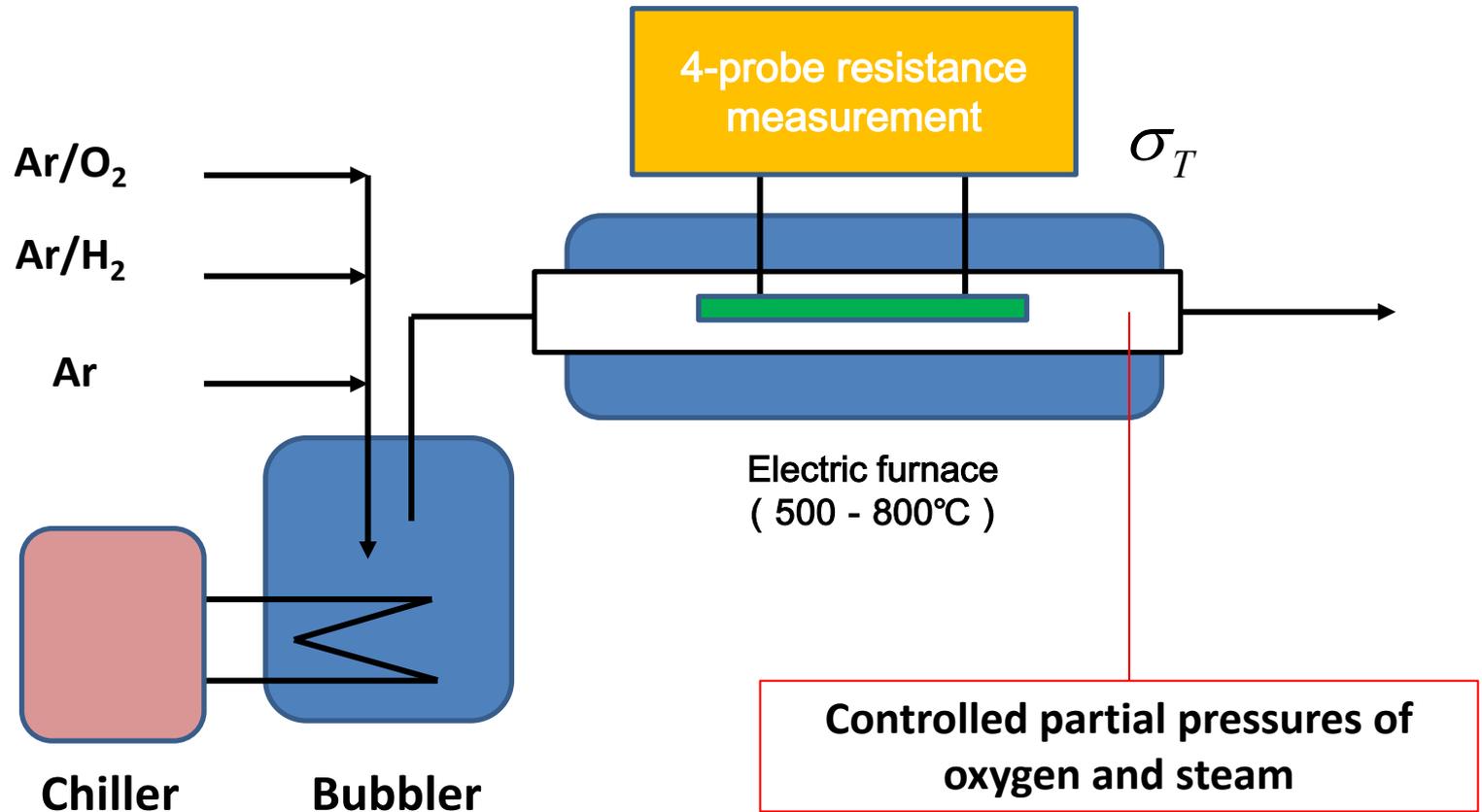
Fuel side



酸化物イオン伝導やホール伝導の影響



材料探索のための実験装置図



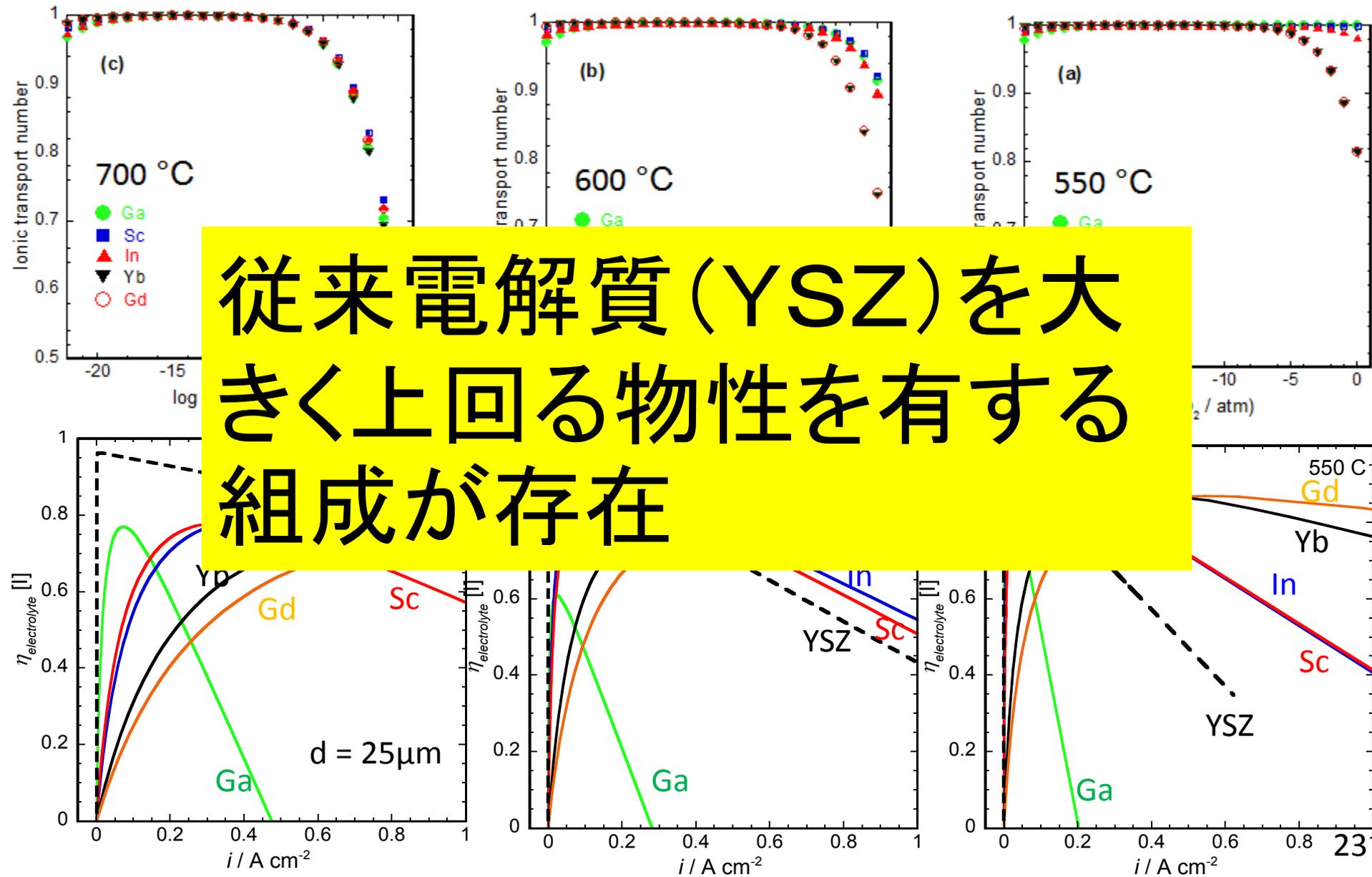
$$\sigma_T = \sigma_{ion} + \sigma_e \cdot P_{O_2}^{-1/4} + \sigma_h \cdot P_{O_2}^{1/4}$$

$$\sigma_T \rightarrow \sigma_{ion}, \sigma_e, \sigma_h$$



Modified Energy Efficiency

of BZCYX ($\text{BaZr}_{0.1}\text{Ce}_{0.7}\text{Y}_{0.1}\text{X}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$) electrolytes



材料

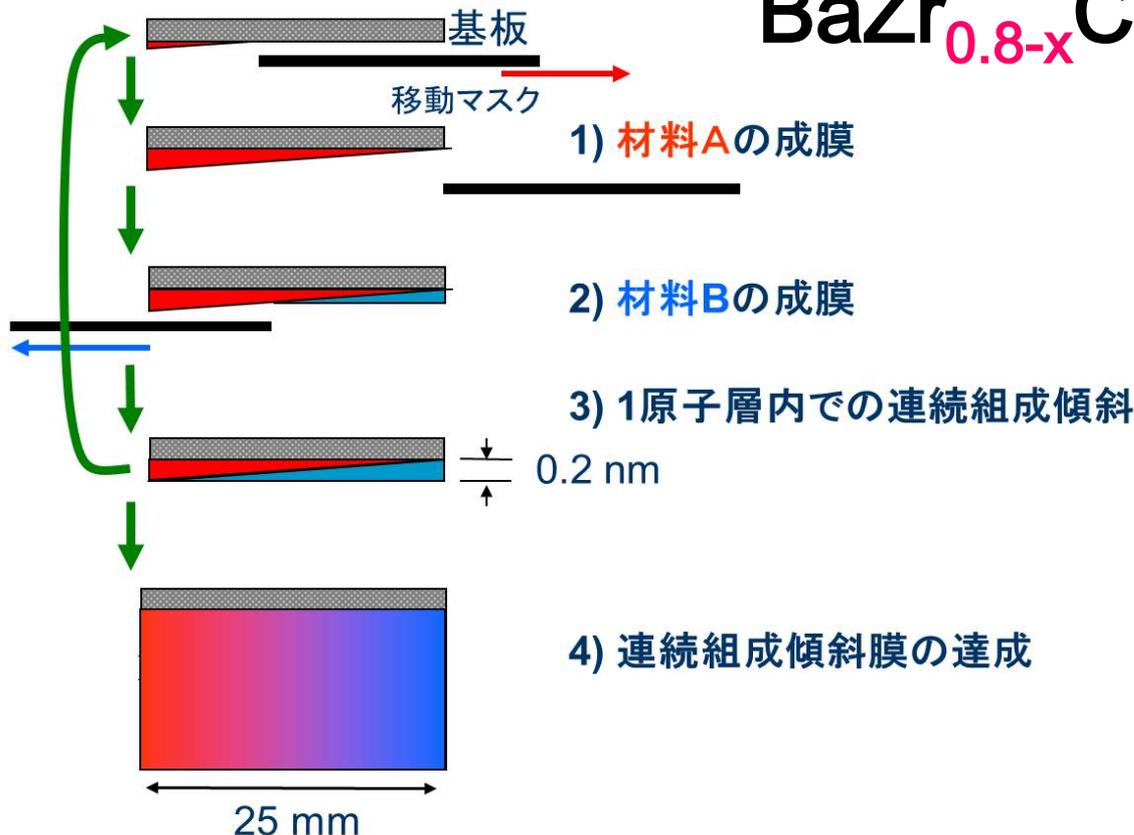
- 電解質材料としてのポテンシャル評価
- 性能と化学安定性の両立

セル

- セル化技術
- 2層化によるリーク電流の低減
- 電極過電圧低減(高活性化)

原子層オーダーでの薄膜積層技術を用いた高速スクリーニング (コンビナトリアル化学の適用)

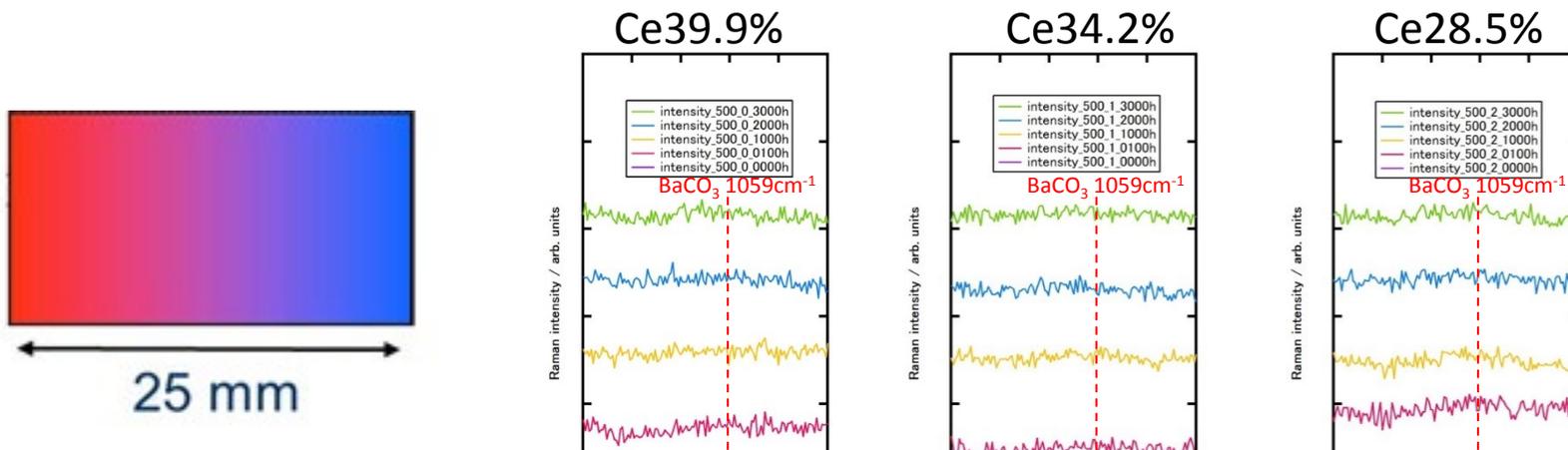
Ceの濃度を傾斜させて成膜することで様々な組成のCO₂耐性を一枚で同時に評価



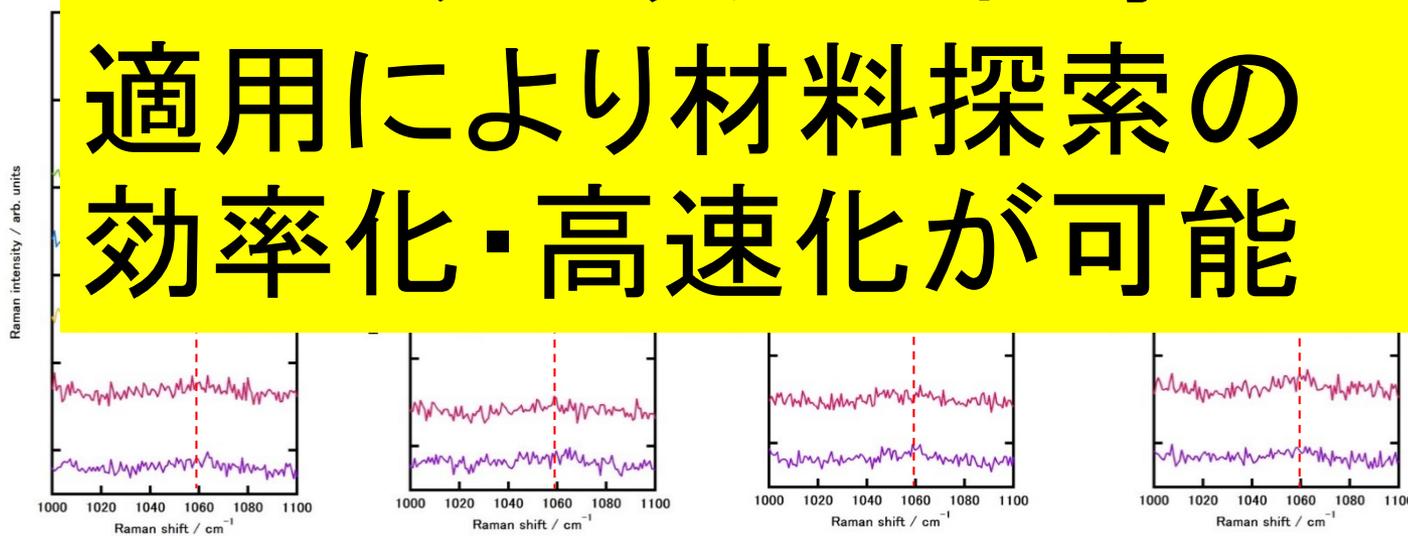
出典(株)コメットHP

<https://www.comet-nht.com/concept.html>

コンビ化学ラマン分光分析例 (500°C)



コンビナトリアル化学の
適用により材料探索の
効率化・高速化が可能



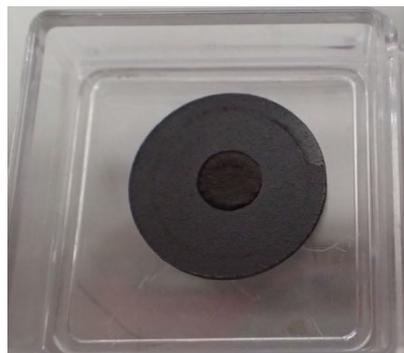
材料

- 材料としてのポテンシャル評価
- 性能と化学安定性の両立

セル

- セル化技術
- 2層化によるリーク電流の低減
- 電極過電圧低減(高活性化)

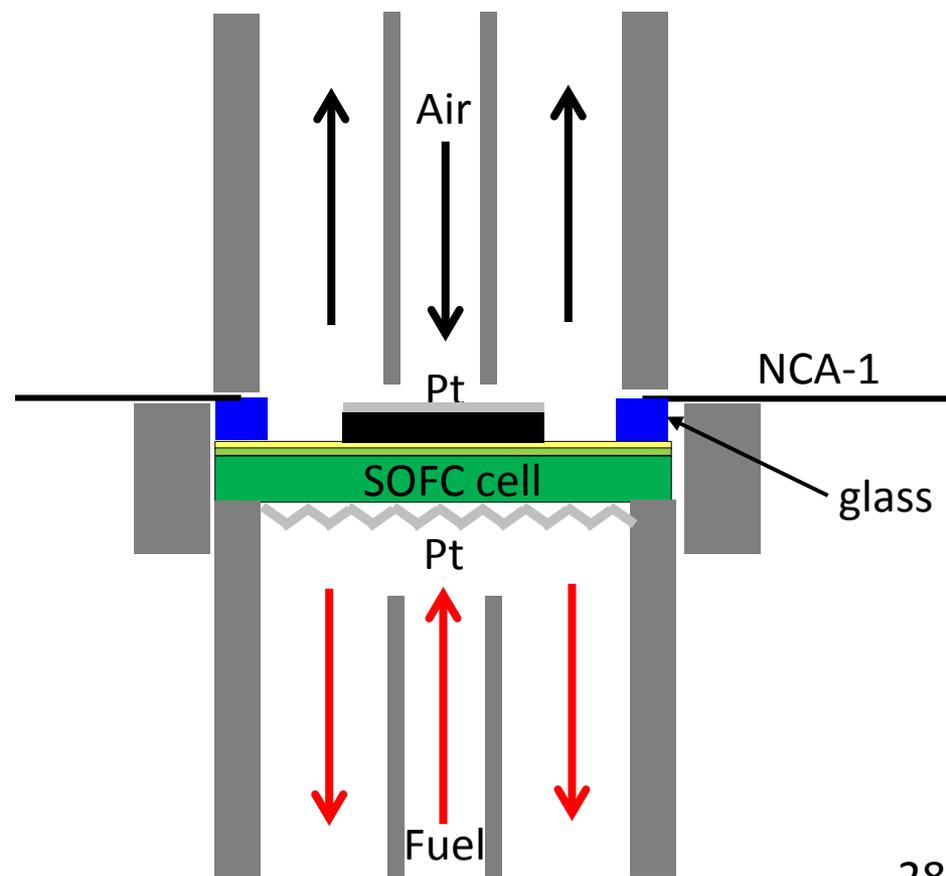
試作セルの外観・構成



LSCF

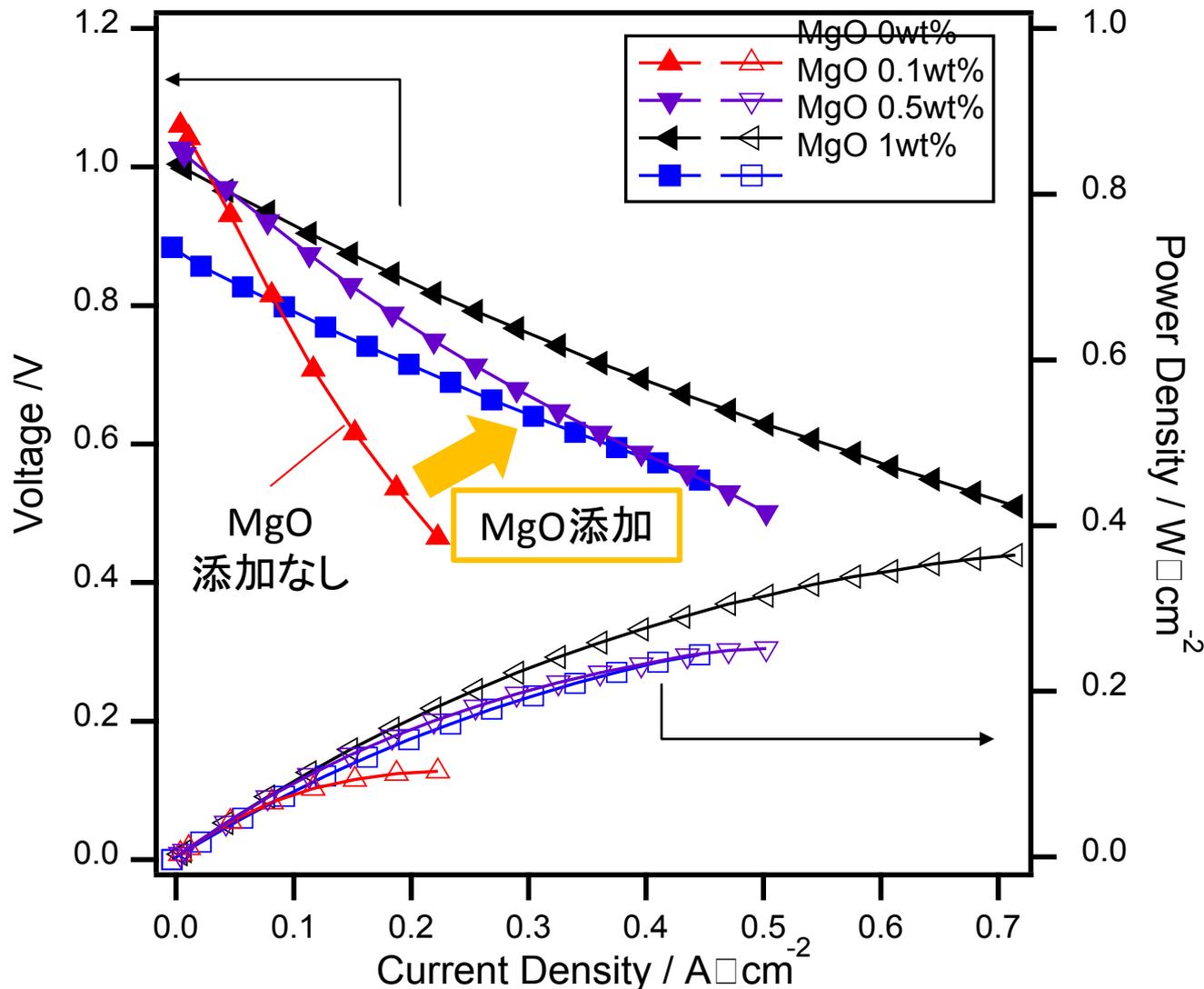
BZCYYb

BZYb層



※発電条件: 600°C、30°C加湿H₂ 100cc/min, 25°C加湿Air 200cc/min

$d \doteq 25\mu\text{m}$



材料

- 電解質材料としてのポテンシャル評価
- 性能と化学安定性の両立

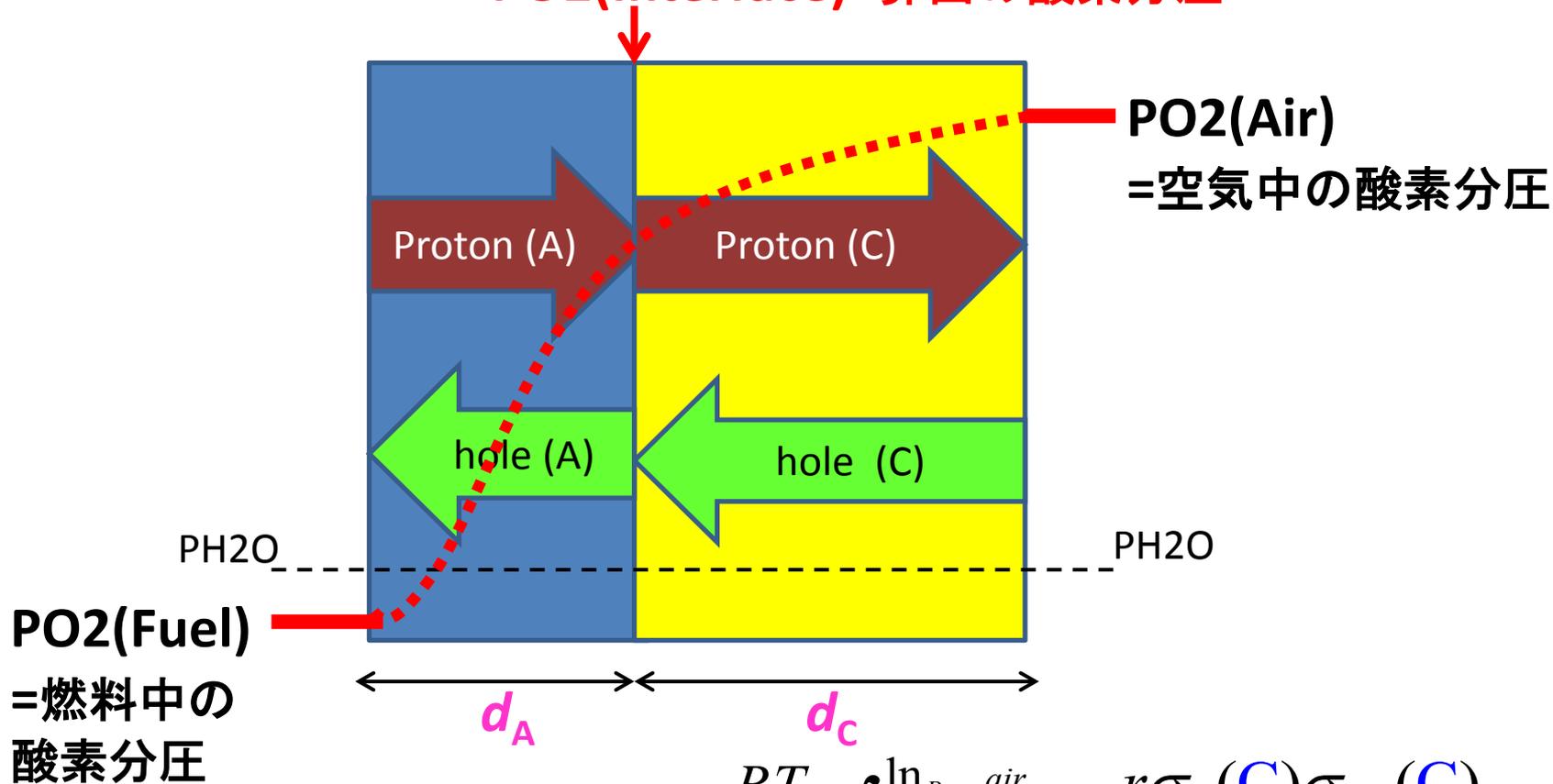
セル

- セル化技術
- 2層化によるリーク電流の低減
- 電極過電圧低減(高活性化)

2層構造でのリーク電流

$$i_{leak}(A, OCV) = \frac{RT}{4Fd_A} \int_{\ln P_{O_2, fuel}}^{\ln P_{O_2, Interface}} \frac{r\sigma_e(A)\sigma_{ion}(A)}{r\sigma_e(A) - \sigma_{ion}(A)} d \ln P_{O_2}$$

PO₂(Interface)=界面の酸素分圧



$$i_{leak}(C, OCV) = \frac{RT}{4Fd_C} \int_{\ln P_{O_2, Interface}}^{\ln P_{O_2, air}} \frac{r\sigma_e(C)\sigma_{ion}(C)}{r\sigma_e(C) - \sigma_{ion}(C)} d \ln P_{O_2}$$

材料

- 電解質材料としてのポテンシャル評価
- 性能と化学安定性の両立

セル

- セル化技術
- 2層化によるリーク電流の低減
- 電極過電圧低減(高活性化)
→ 性能向上への寄与大

■ 背景

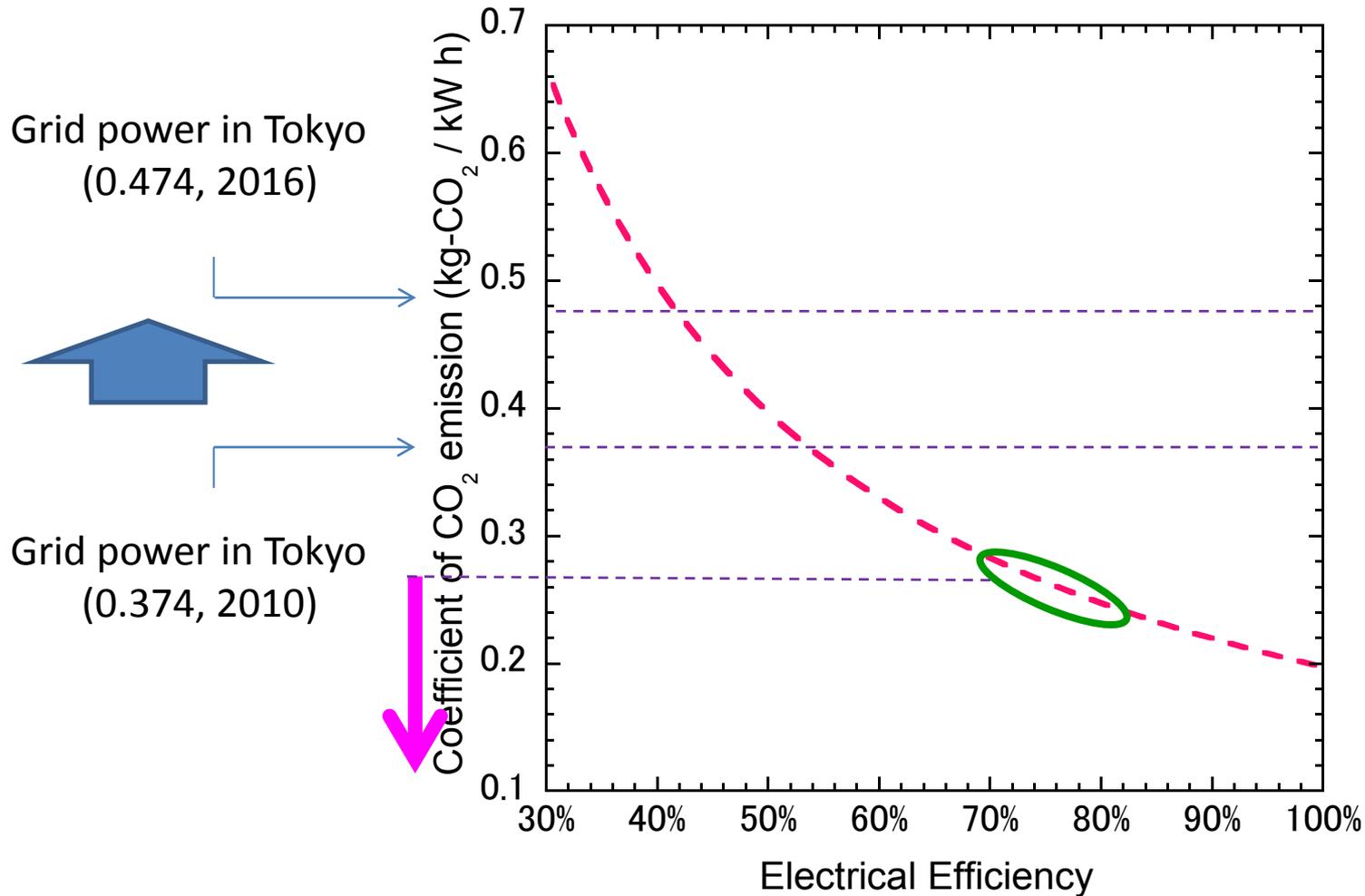
■ 分散発電のメリットと燃料電池への期待

■ 革新的高効率発電

■ 革新的脱炭素化発電

□ 再生可能エネルギー大量導入に向けたSOC技術の可能性

CO₂ 排出係数



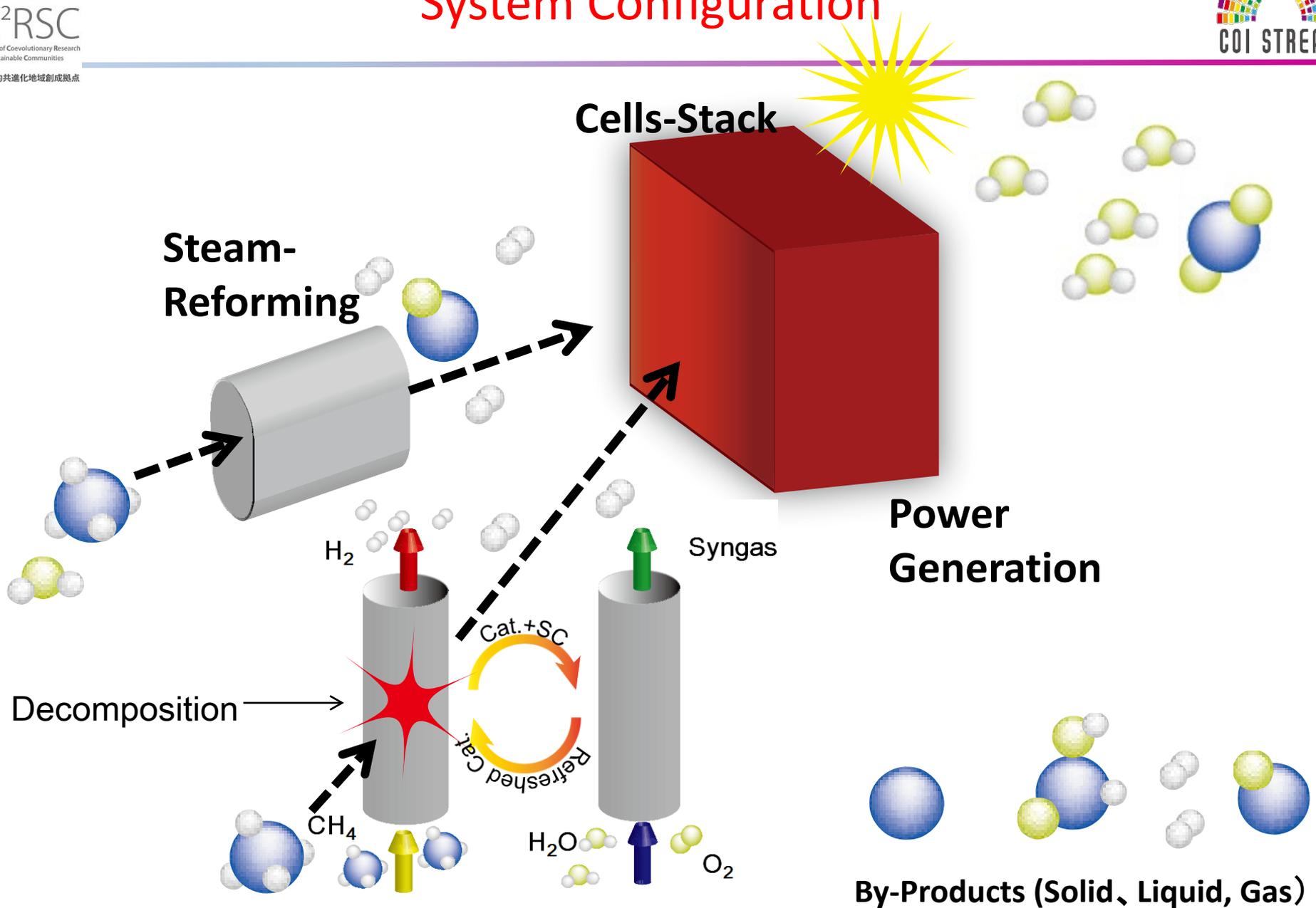
We are developing power generation systems with considerably high electrical efficiencies

(1) メタン分解による方法

(2) 高効率CO₂回収による方法

(3) カーボンフリー/ニュートラル燃料の適用性

System Configuration

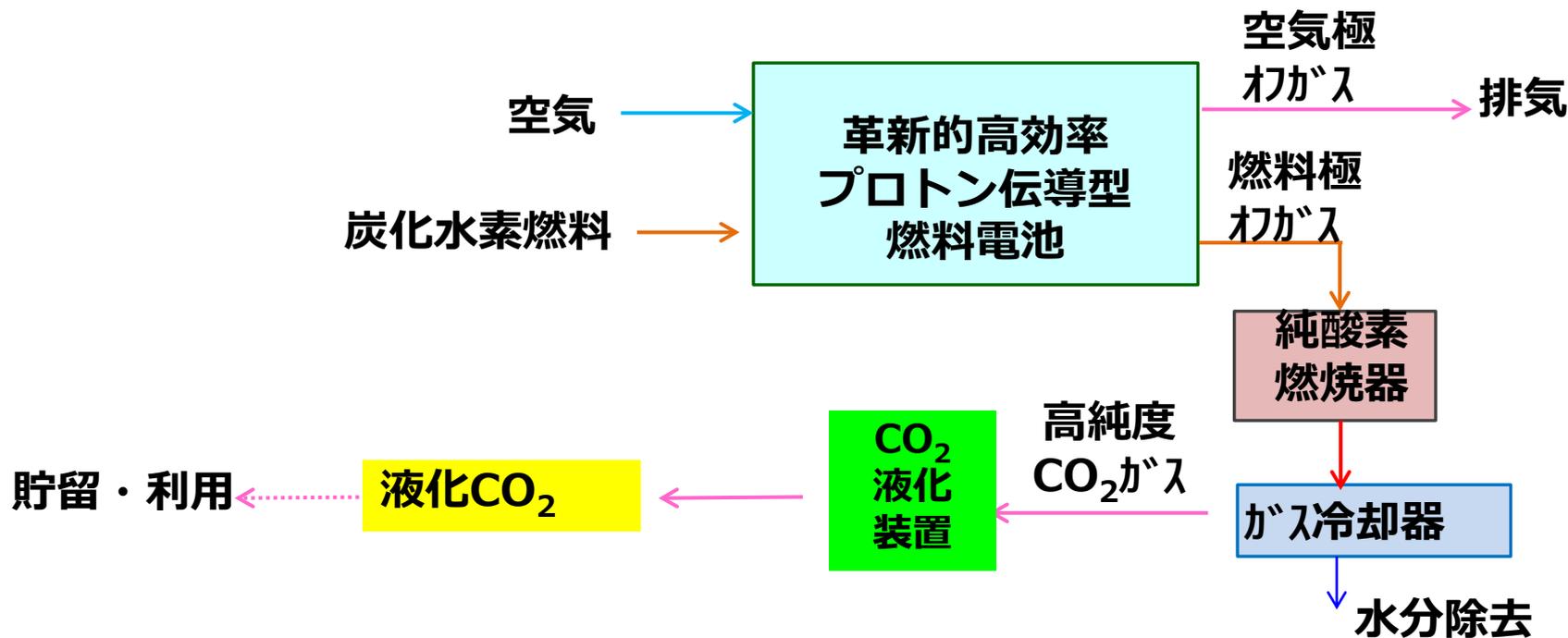


(1) メタン分解による方法

(2) 高効率CO₂回収による方法

(3) カーボンフリー/ニュートラル燃料の適用性

CO₂回収型革新的高効率発電システム概念図



従来の発電効率と比較して革新的高効率発電システムでは出力当たりのCO₂排出量が少なく、さらにプロトン伝導電解質の特長として水蒸気が空気極側に発生するため燃料極側でCO₂が濃縮されるという特徴もあり、高効率でのCO₂回収が期待できる

(1) メタン分解による方法

(2) 高効率CO₂回収による方法

(3) カーボンフリー/ニュートラル燃料の適用性

“Effect of Carbon-neutral Fuel Fed Solid Oxide Fuel Cell System on CO2 Emission Reduction”

Y. Tachikawa, et al, ECST, 78 (1) 2563-2568

CO₂排出原単位に着目した燃料電池の 低炭素・脱炭素ポテンシャルの検討

将来の脱炭素化社会を見据えてCO₂フリー/
ニュートラル燃料の適用性を評価

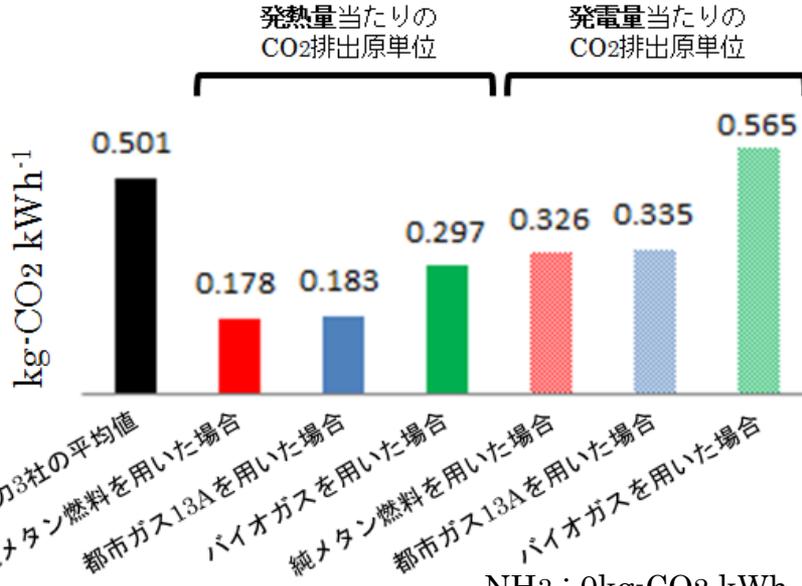
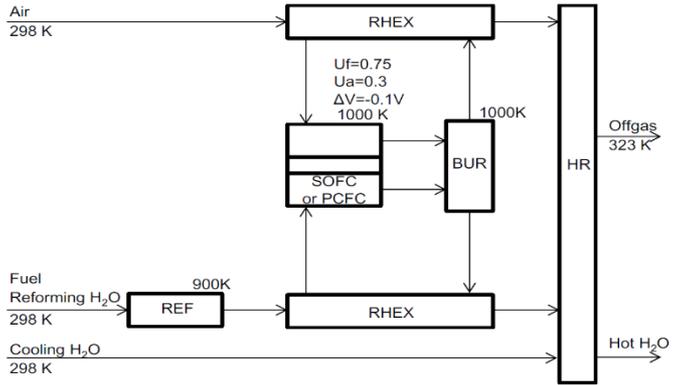
水素イオン伝導型SOFC(PCFC)の適用と燃料種

SOFC		P_{output} / kW	$\eta_{Eff} / \%LHV$
Fuel	NH ₃	10.1	63.3
	Biogas	9.3	58.4
	CH ₄	9.7	60.9
PCFC			
Fuel	NH ₃	↑ 11.1	↑ 69.1
	Biogas	↑ 10.3	↑ 64.4
	CH ₄	↑ 10.9	↑ 68.2

10kW級システム, Uf=75

水素イオン伝導型SOFC(PCFC)の適用で
5~10%の効率向上

熱収支解析モデル(概略)



NH₃ : 0kg-CO₂ kWh
従来燃料で4割減
バイオガスで実質ゼロ

■ 背景

■ 分散発電のメリットと燃料電池への期待

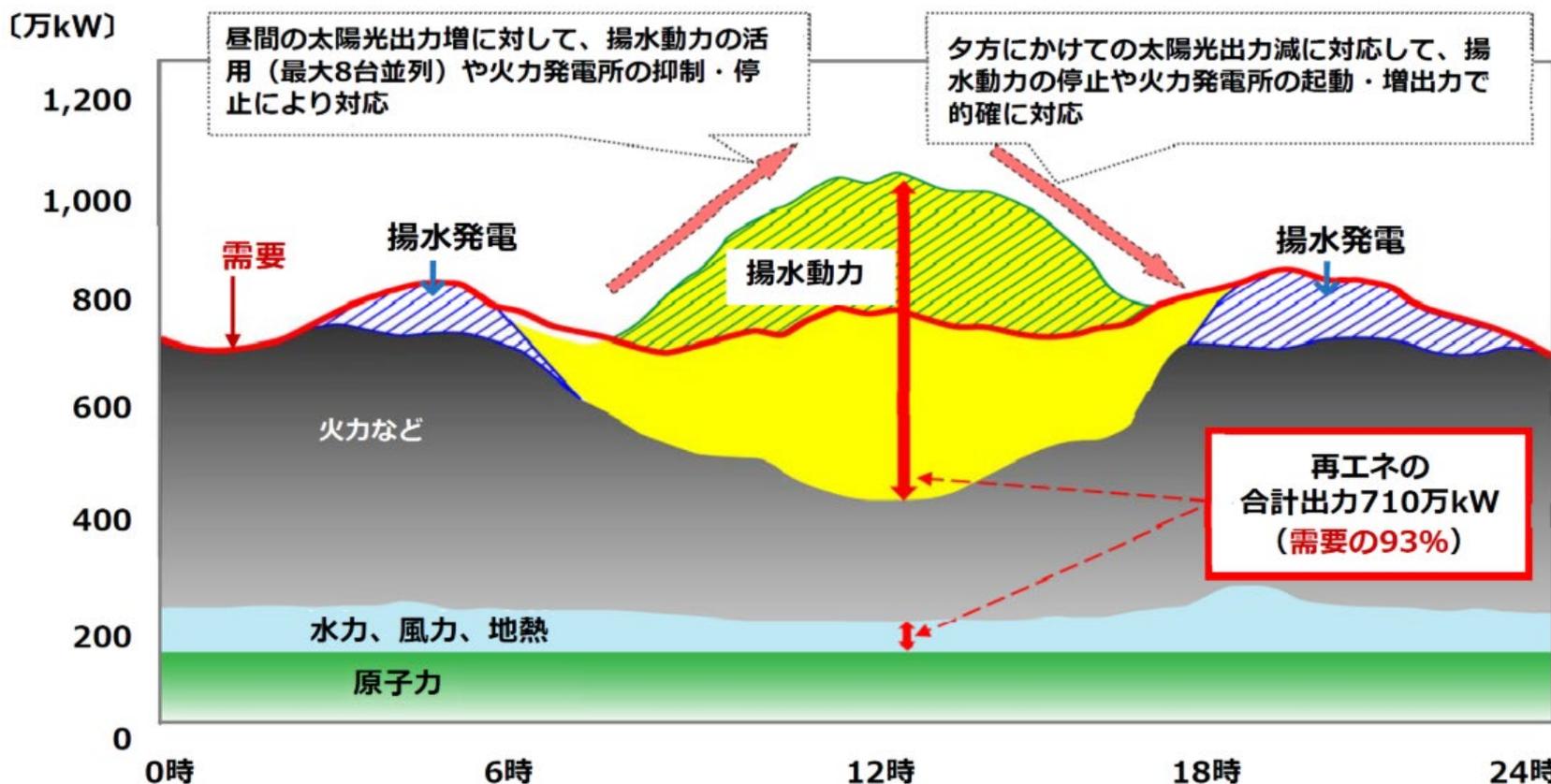
■ 革新的高効率発電

■ 革新的低炭素発電

■ 再生可能エネルギー大量導入に向けたSOC技術の可能性

九州電力は16日、太陽光発電を一時停止する「出力制御」について、「短期的に状況が改善するとは思えない」と述べ、今後も継続する考えを示した。九電は電力の需給バランスが崩れて大規模停電が起きるのを防ぐため、これまで8回にわたって出力制御を実施。九電の送電網につなぐ太陽光発電の出力は計約800万キロワットに上る。今後も冷暖房の利用が減る春秋や、オフィスや工場の電力需要が減る年末年始、ゴールデンウィークに出力制御する可能性が高い。

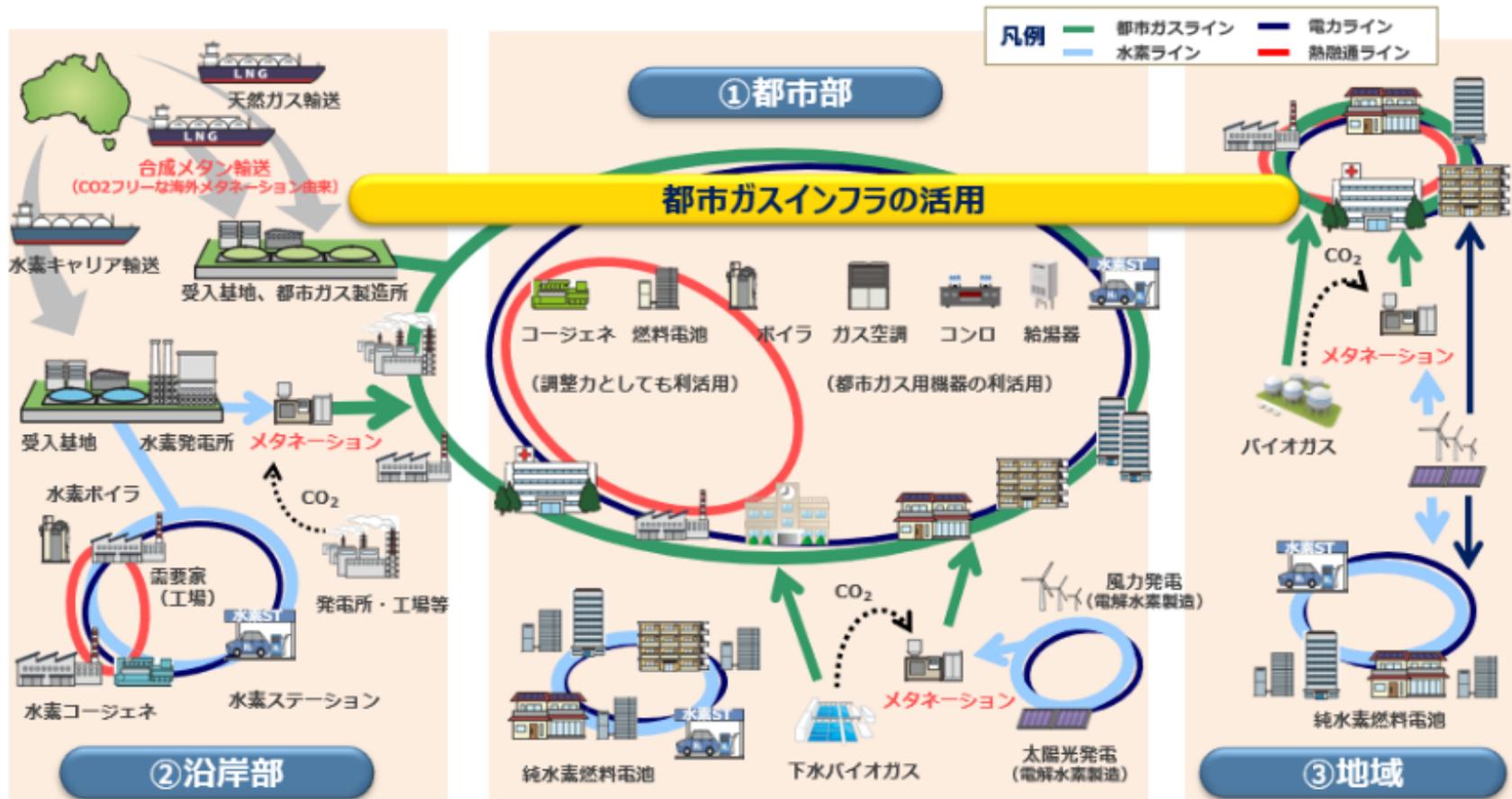
2018年5月3日の九州の電力需給実績



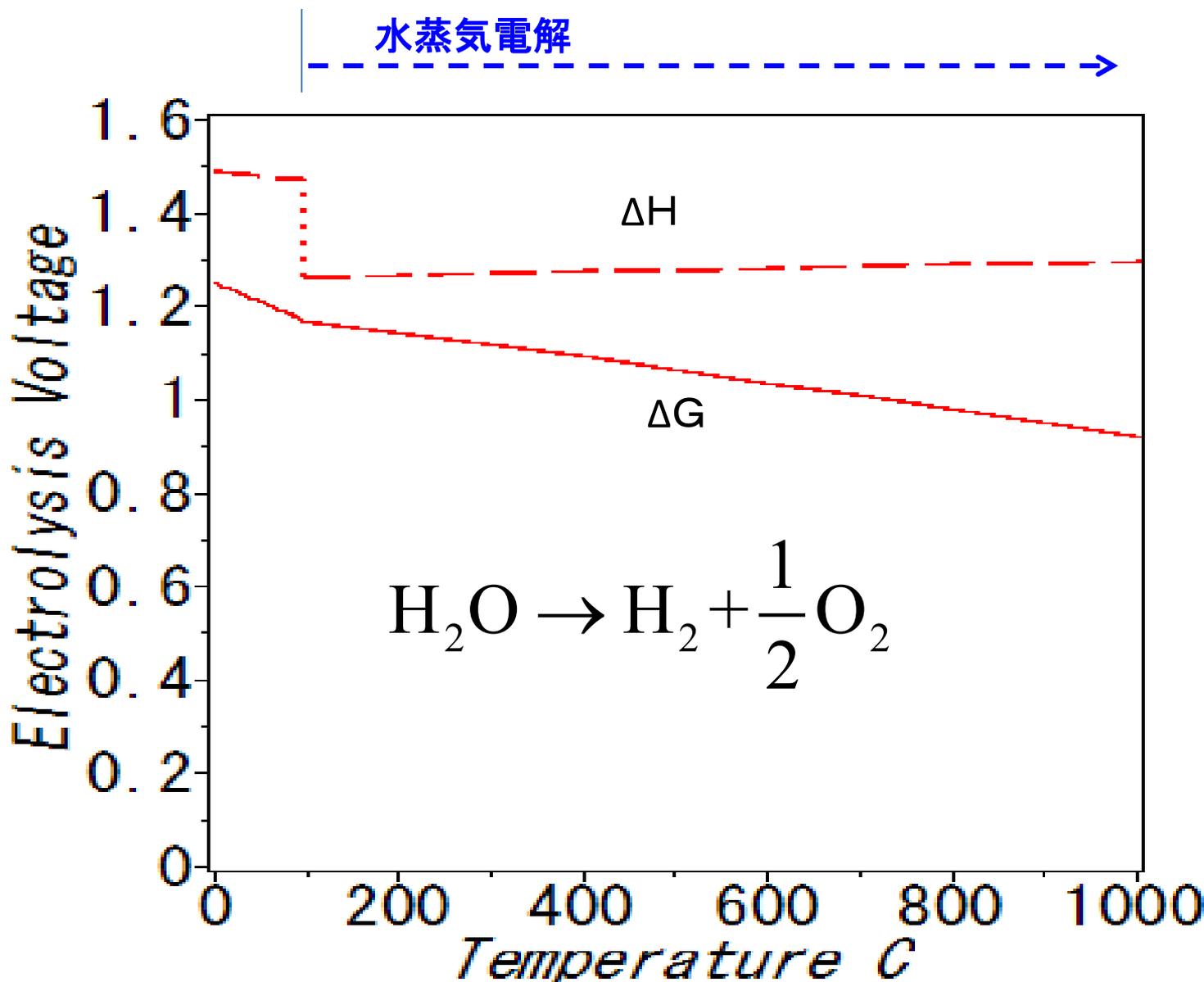
メタネーションの社会実装イメージ例

日本ガス協会ホームページより

- ①都市部：CO₂フリー水素と回収CO₂より合成したメタンなどを、都市ガスネットワークを介して利活用
- ②沿岸部：輸入水素を大量消費する水素発電所などを起点に周辺で水素や合成メタンの利活用が進展
- ③地域：合成メタンまたは水素などを各ローカルネットワーク内で地産地消するなど利活用し、地域の活性化にも貢献



水蒸気電解によるH₂O電解高効率化の可能性





(リバーシブルSOC = SOEC/ SOFC)

持続的経済社会構築研究拠点

Gas	η_1 / % (Power to Gas) [蓄エネ]	η_2 / % (Gas to Power) [発電]	η_{12} / % (Roundtrip) [充放電]
H ₂	70	55+熱	38.5+熱
	80	60+熱	48+熱
	90	60+熱	54+熱
CH ₄	80	55+熱	44+熱
	80	60+熱	48+熱
	80	70+熱	56+熱
	90	70+熱	63+熱
	90	80+熱	72+熱

Acknowledgements

本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) の研究成果展開事業 (COI プログラム) により助成を受けたものである。関係各位に感謝いたします。

ご清聴ありがとうございました