

戦略的省エネルギー技術革新プログラム
フェーズ名：実用化開発

プラズマ複合排ガス処理による ガラス溶解炉の省エネルギー化技術の開発

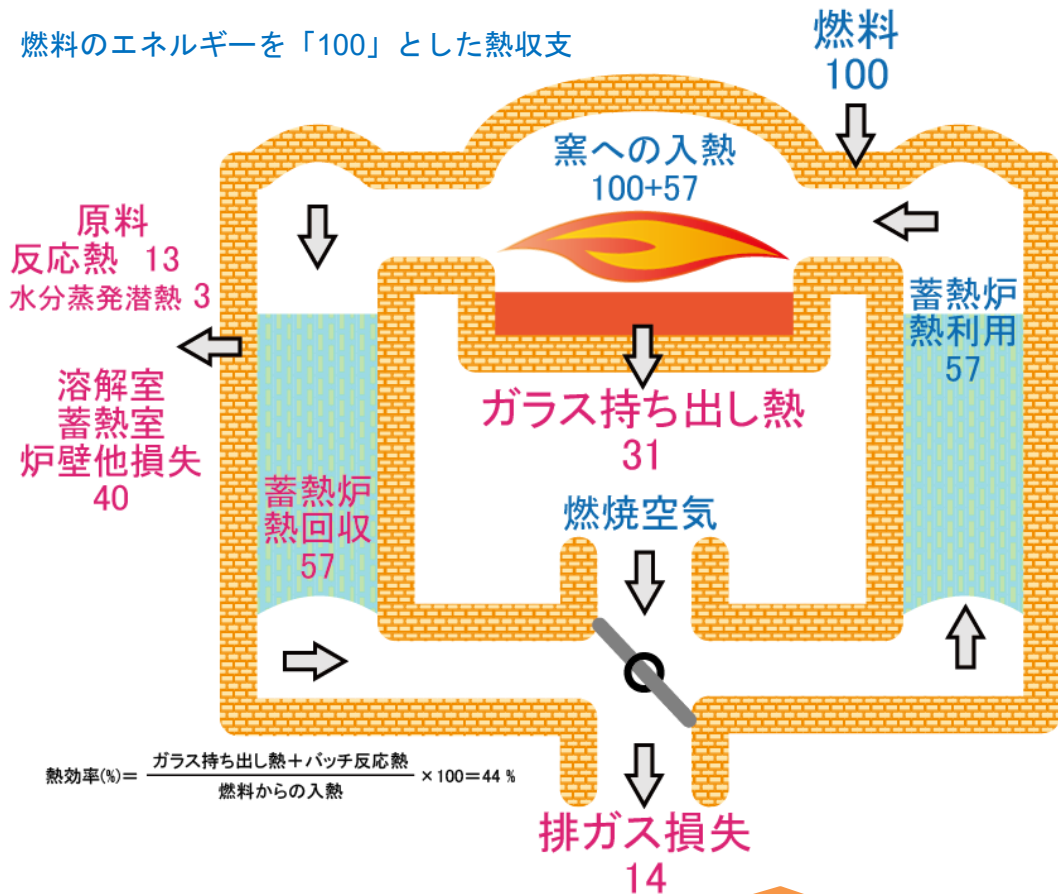
プロジェクト実施者： 日本山村硝子株式会社

プロジェクト実施期間： 2018年7月～2021年2月



1-1. 研究開発の背景

燃料のエネルギーを「100」とした熱収支



温度:500°C、ばい塵:100mg/m³N
SO_x:1000ppm、NO_x:<450ppm

市場
ガラス産業全般(建築、びん、食器等)

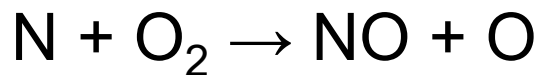
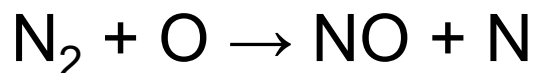
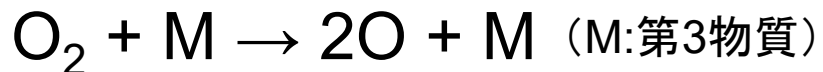
ガラス産業
全産業エネルギーの1%消費
(原油200万kL/年)

排ガス
原料/燃料から環境境負荷物質
(NO_x、SO_x、ばい塵)

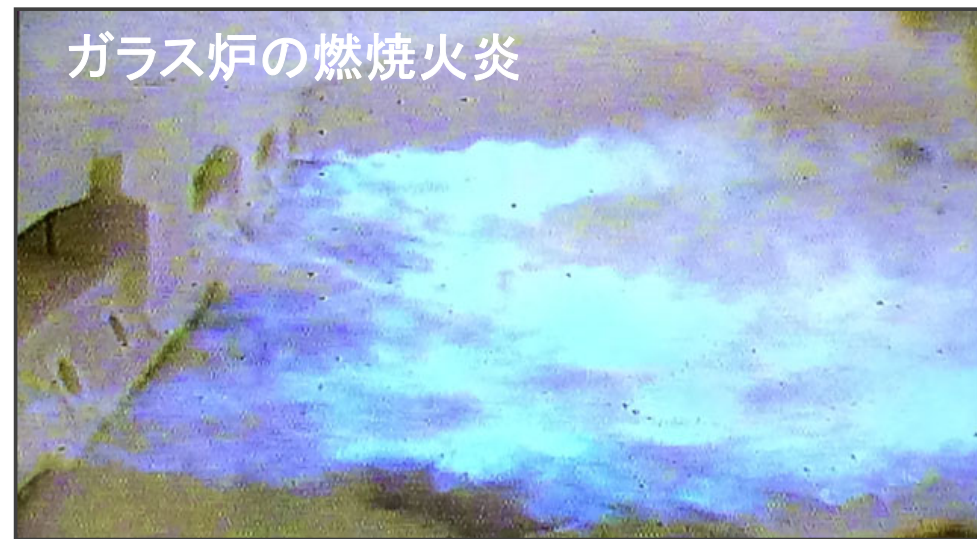
燃費損失
NO_x抑制の燃費損失は14%と大きい

燃焼反応で生成するNO

(Zeldovich機構)



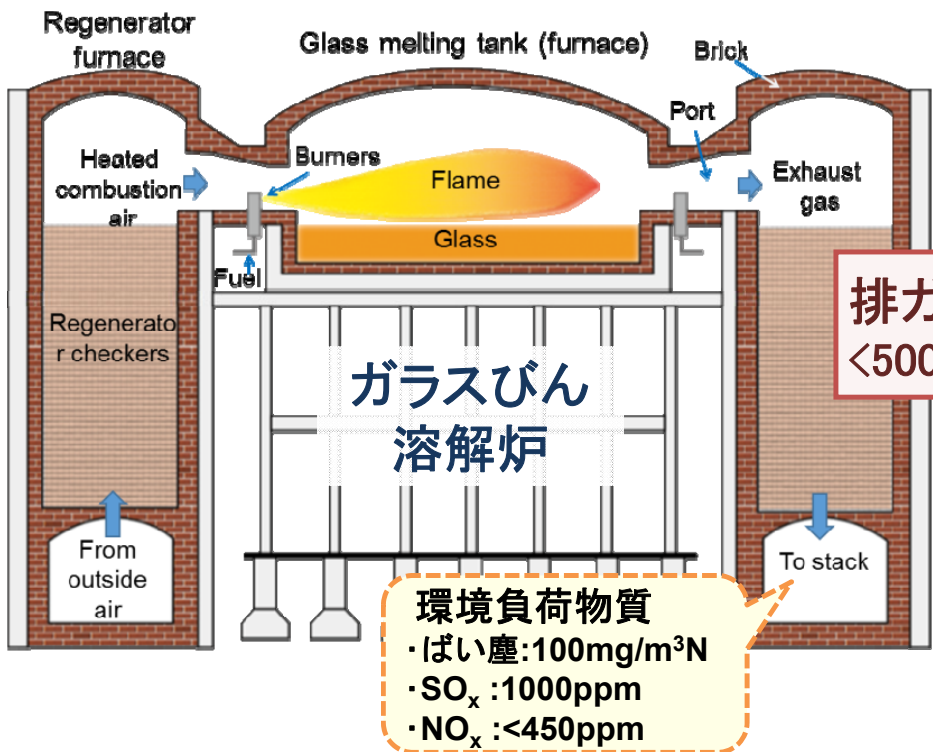
ガラス溶解炉燃焼排ガスのNO_x
→ サーマルNO_x(その9割はNO)



ガラス炉のサーマルNOの低減策

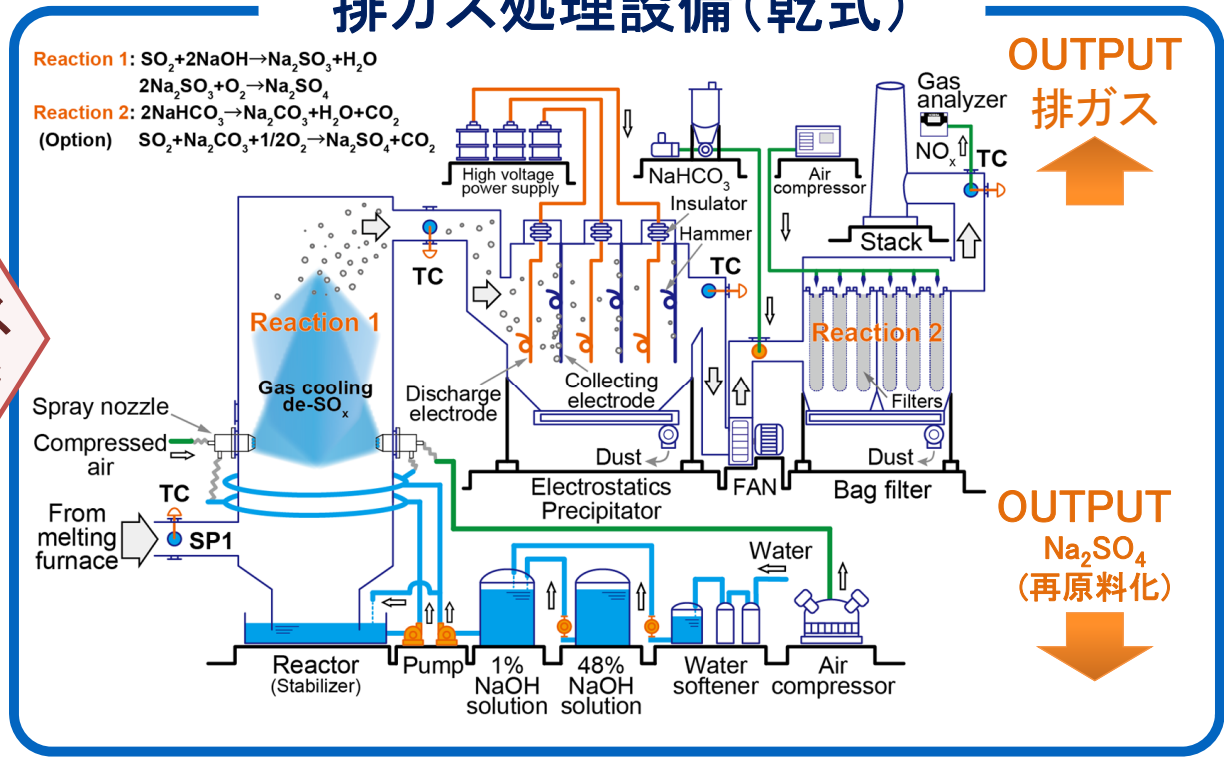
- ・燃焼温度の低下
- ・高温領域での滞留時間の短縮
- ・燃焼領域での酸素濃度(空気比)の低下⇒燃費損失

溶解工程後(排ガス処理)でのNO_x低減が望まれている



排ガス <500°C

排ガス処理設備(乾式)



NO_x (窒素酸化物)

入口側: 高濃度SO_x、粘着性ダスト ⇒ 触媒へ影響
 出口側: 低温排ガス ⇒ 脱硝効率大きく低下
 ⇒ 選択式触媒還元脱硝(SCR)には課題あり

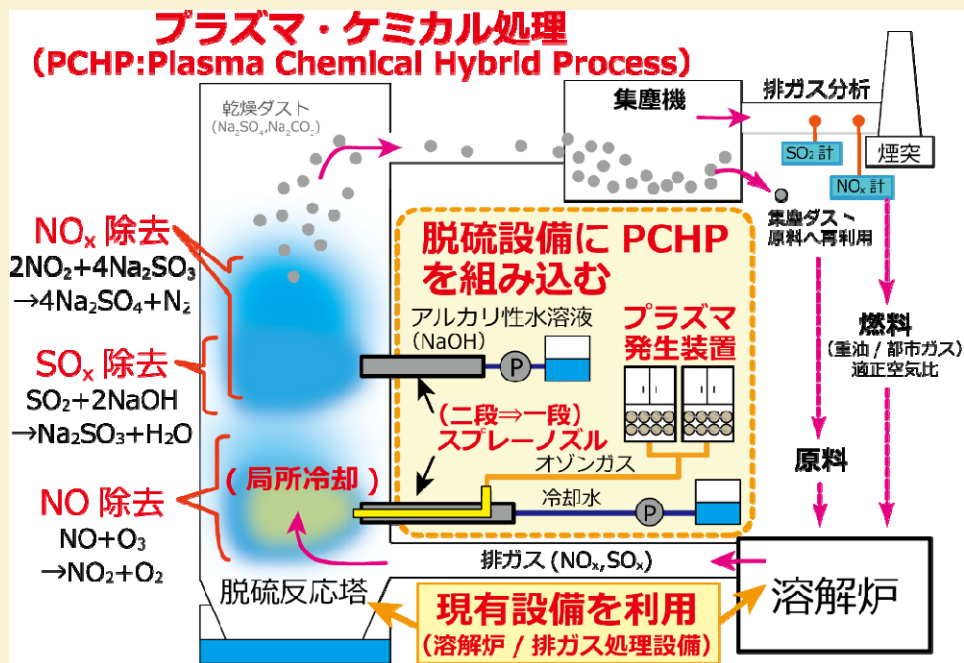
課題

- ・省エネルギーとNO_x排出削減の両立
⇒省エネルギー/省CO₂/省NO_xガラス溶解技術開発
- ・高温ガスでのO₃のNO酸化/NO₂還元性能の向上
⇒プラズマ複合処理技術研究開発
- ・オゾン発生コストの低減
⇒オゾン発生装置の省エネ化

目的・目標

- ・ガラス溶解炉の革新的燃費向上
⇒PCHPでNO_x低減、適正空気比で省エネ燃焼

【技術開発成果の製品イメージ】



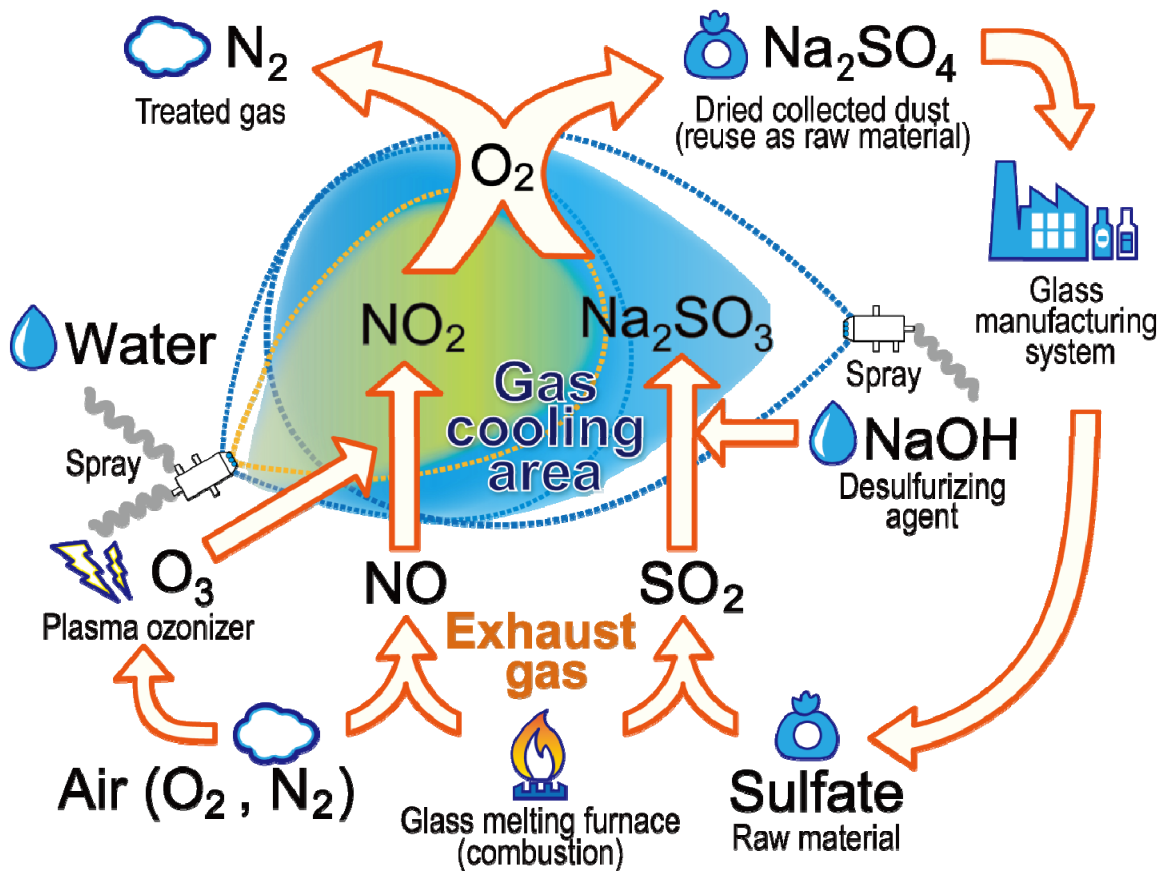
NO_x抑制
不完全燃焼
燃費悪化

PCHPで
NO_x低減

完全燃焼
省エネ

空気比=実空気量/理論空気量

プラズマ複合排ガス処理 (Plasma Chemical Hybrid Process)



要素技術

同時脱硫(De- SO_x)・脱硝(De- NO_x)技術

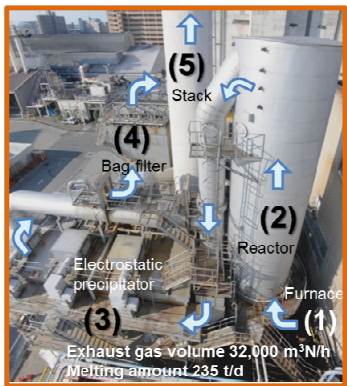
- ① O_3 による NO 酸化
- ② $NaOH$ による SO_x 脱硫
- ③ Na_2SO_3 による NO_2 還元

NO酸化と NO_2 還元を複合させた脱硫脱硝技術(PCHP)の開発

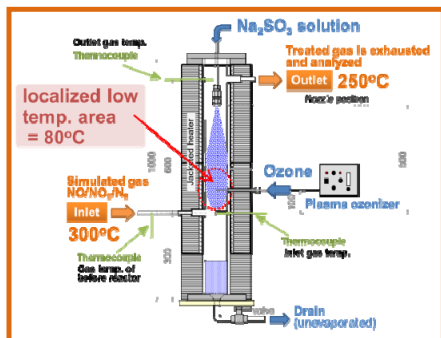
特徴

- ・触媒を用いない
- ・排ガスを昇温する必要がない
- ・水処理の必要がない
- ・既存の排ガス処理に後付け可能

開発手法



実機ガラス製造プロセス



ラボ実験機 (5万分の1スケール)



オゾン発生装置(実機)



オゾン発生装置(パイロット機)

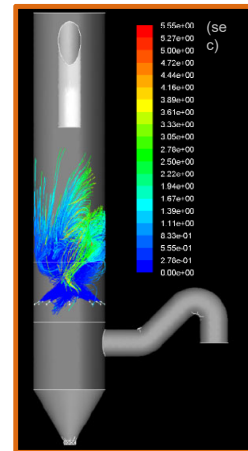
オゾン発生効率最適化

エネルギー効率最適化

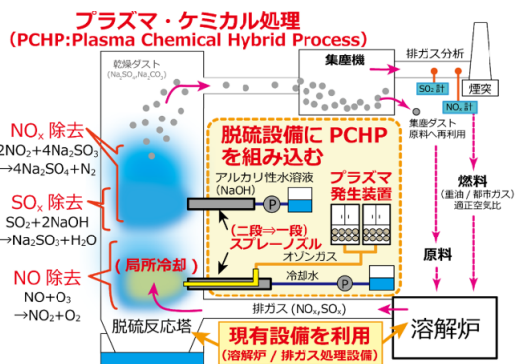
反応効率最適化

実機データ

シミュレーション



ノズル設計最適化



NO_x抑制 不完全燃焼 燃費悪化
 PCHPで NO_x低減
 完全燃焼 省エネ

空気比=実空気量/理論空気量
 ガラス溶解炉の省エネとNO_x排出削減の両立可能なガラス製造技術の実現

実装



スプレーノズル

技術開発責任者
山本 柱

日本山村硝子(株)

- (1) 省エネルギー/省CO₂/省NO_xガラス溶解技術開発
- 1) プラズマ装置調査/仕様策定/実装
- 3) 実機NO_x低減条件開発
- 4) 実機NO_x低減・省エネ運転条件開発

共同研究

(公)大阪府立大学

- (1) 省エネルギー/省CO₂/省NO_xガラス溶解技術開発
- 2) 実験室NO_x処理最適化条件開発
- 3) 実機NO_x低減条件開発
- 4) 実機NO_x低減・省エネ運転条件開発

委託

(株)いけうち

- (2) プラズマ複合処理技術研究開発
- 1) オゾン注入ノズル仕様策定/シミュレーション/実装
- 2) 水冷オゾン注入(二段)の条件開発
- 3) 溶液冷オゾン注入(一段)の条件開発

委託

(株)増田研究所

- (3) オゾン発生装置の省エネ化
- 1) オゾン発生装置の仕様策定/システム化/実装
- 2) 省エネプラズマ発生精密制御要素開発

(1) 省エネルギー/省CO₂/省NO_xガラス溶解技術開発

— 目標
→ 実績

開発項目	2018年度				2019年度				2020年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
1) プラズマ装置調査/仕様策定/実装 (NYG)												
	O ₃ 量4 kg/h実装完了 実装完了、酸素供給設備実装				O ₃ 量8 kg/h実装完了 10 kg/h実装完了				O ₃ 量10 kg/h実装完了 PSA、薬剤噴霧装置実装			
2) 実験室NO _x 処理最適化条件開発 (阪府大)												
					NO _x 60%低減→ 74%低減→				NO _x 80%低減→ 88%低減→			

1) プラズマ装置調査/仕様策定/実装

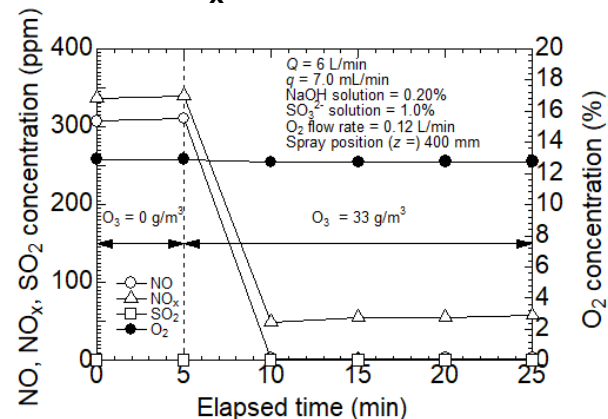


プラズマオゾン発生装置
(奥:O₃ 4 kg/h、手前:O₃ 6 kg/h)



酸素供給設備 3500 m³
CE(cold evaporator)タンク

2) 実験室NO_x処理最適化条件開発



実験室NO_x処理実験結果の例

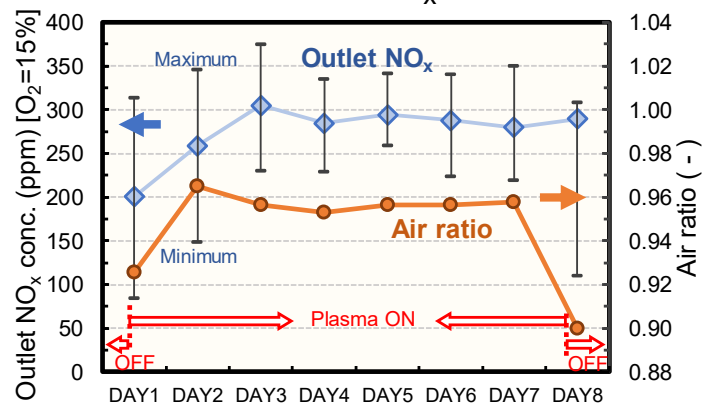
(1) 省エネルギー/省CO₂/省NO_xガラス溶解技術開発

共同研究: NYG・阪府大

開発項目	2018年度				2019年度				2020年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
3) 実機NO _x 低減条件開発			→→→→→→→→→→		→→→→→→→→→→ 空気比0.96でNO _x 350 ppm→ 空気比0.96でNO _x 280 ppm→				→→→→→→→→→→ 空気比1.0 でNO _x 350 ppm→ 空気比1.01でNO _x 280 ppm→			
4) 実機NO _x 低減・省エネ 運転条件開発			→		→	→			→	→		
					省エネ 415 kL/(炉・年)→ 544 kL/(炉・年)→				省エネ 1150 kL/(炉・年)→ 1435 kL/(炉・年)→			

3) 実機NO_x低減条件開発

・ガラス製造プロセスでNO_x低減効果を確認



実機NO_x低減条件開発の連続実証試験結果の例

4) 実機NO_x低減・省エネ運転条件開発



実機NO_x低減処理設備(反応塔と煙突)

・実機NO_x低減条件

: 大規模実証試験5回実施
(~16日間連続/回)

: 燃焼空気比を1.01に調整

・省エネ運転条件

: 省エネ量 1435 kL/(炉・年)

(2) プラズマ複合処理技術研究開発

委託: いけうち

開発項目	2018年度				2019年度				2020年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
1) オゾン注入ノズル仕様策定/シミュレーション/実装	二段噴霧反応時間1秒実装 実装完了				二段噴霧反応時間2秒実装 実装完了				一段噴霧反応時間2秒実装 実装完了			
2) 水冷オゾン注入(二段)の条件開発	実機設計へ技術導入(随時) 水冷噴霧技術の導入				二段噴霧反応時間2秒クリア 2.7秒クリア							
3) 溶液冷オゾン注入(一段)の条件開発					実機設計へ技術導入(随時) 溶液冷噴霧技術の導入				一段噴霧反応時間2秒クリア 2.1秒クリア			

1) オゾン注入ノズル仕様策定/シミュレーション/実装

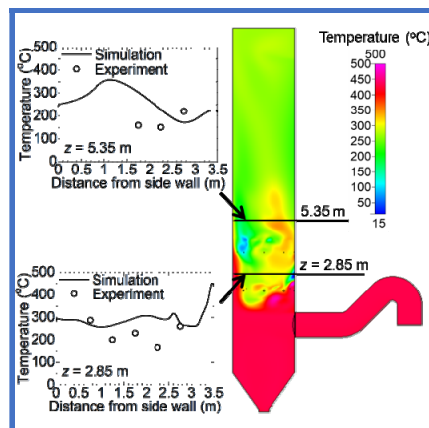
- 相変化を含む気液二相熱流体解析からノズルを開発

2) 水冷オゾン注入(二段)の条件開発

- 水冷オゾン噴霧の十分な反応時間 (O₃酸化に必要な冷却時間) を達成

3) 溶液冷オゾン注入(一段)の条件開発

- 溶液冷オゾン噴霧の十分な反応時間 (O₃酸化に必要な冷却時間) を達成



シミュレーション結果(ガス温度)と実測データとの比較の例



開発したノズル(一段)の設置例
(上: 三流体ノズル、下: 二流体ノズル×二種)

(3) オゾン発生装置の省エネ化

委託: 増田研究所

開発項目	2018年度				2019年度				2020年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
1) オゾン発生装置の仕様策定/システム化/実装	オゾン発生効率76 g/kWh パイロット機 76 g/kWh				オゾン発生効率85 g/kWh パイロット機 88 g/kWh 実機 110 g/kWh				オゾン発生効率90 g/kWh パイロット機 105 g/kWh 実機 124 g/kWh			
2) 省エネプラズマ発生精密制御要素開発	実機へ技術導入(随時)				空気比0.96でNO _x 350 ppmの制御→ 空気比0.96でNO _x 280 ppmの制御→				空気比1.0でNO _x 350 ppm制御 空気比1.01でNO _x 280 ppm制御			

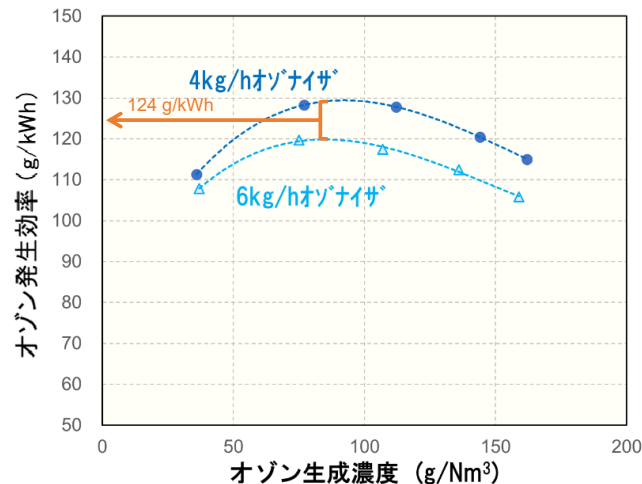
1) オゾン発生装置の仕様策定/システム化/実装

- パイロット機(冷水/ヒートポンプ)と実機で評価
- オゾン発生効率 (g/kWh)

パイロット機	水冷(17°C)	76
	ヒートポンプ(-15°C)	105
実機	水冷(20°C)	124

2) 省エネプラズマ発生精密制御要素開発

- オゾン発生効率の変動は小さい(10%)
- フィードバック制御が可能である



実機オゾン生成濃度とオゾン発生効率との関係



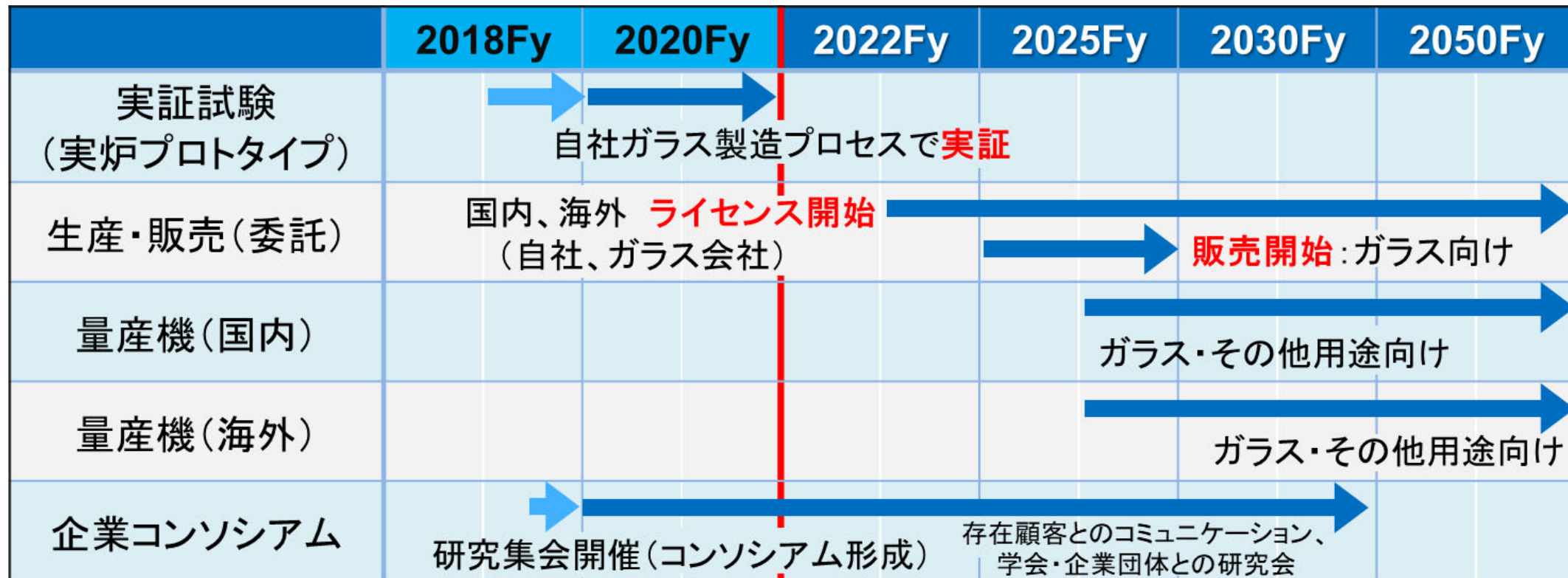
代表的IP

		権利化件数	出願件数
基本IP	国内	2 (審査中1)	3
	外国	3(審査中1)	4
周辺IP	国内	3	3
	外国	0(審査中3)	3

論文・学会・プレス発表等(公知化) 論文4報、学会発表16件、技術委員会、研究集会、技術紹介プレゼン

日付	論文・学会名	発表テーマ
2018/9/26	[学会] ICG Annual Meeting 2018	Treatment of Exhaust Gas from the Glass Melting Furnace Using a Plasma-chemical Hybrid Process
2018/11/29	[学会] The 2nd Joint Symposium on Advanced Mechanical Science & Technology	Pilot-Scale Investigation of a Plasma-Chemical DeNO _x Process for Glass Melting Furnace Flue Gas
2019/6/25	[学会] International Workshop on Environmental Engineering 2019 (IWEE2019)	Semi-Dry Plasma-Chemical DeNO _x Process for Glass Melting Furnace Flue Gas
2019/11/1	[論文] IEEE Transactions on Industry Applications	Pilot-Scale NO _x and SO _x Aftertreatment Using a Two-Phase Ozone and Chemical Injection in Glass-Melting-Furnace Exhaust Gas
2019/11/1	[論文] NEW GLASS	プラズマ・ケミカル複合脱硫脱硝技術—実証試験と流体シミュレーション—
2019/11/6	[学会] International Conference on Flow Dynamics 2019 (ICFD2019)	Pilot-Scale Investigation of Semi-Dry Plasma-Chemical DeNO _x Process for Glass Melting Furnace Flue Gas
2020/12/8	[学会] GLASS MEETING 2020 On Web	Semi-dry exhaust gas treatment for glass bottle furnace using a plasma-chemical hybrid process
2021/2/12	[論文] Mechanical Engineering Journal	Performance Evaluation of Semi-dry Flue Gas Desulfurization and Denitration from Flue Gas of a Glass Melt Using Nonthermal Plasma Combined Process
2021/7/1	[論文] Plasma Chemistry and Plasma Processing	Pilot-Scale NO _x and SO _x Aftertreatment by Semi-Dry Plasma-Chemical Hybrid Process in Glass-Melting-Furnace Exhaust Gas

実用化計画と見通し



2050年カーボンニュートラル社会では、CO₂フリー燃料等の燃焼技術が普及する。当該システムを新たな燃焼方式へ応用可能な技術へとする開発をすすめる。