

グリーンイノベーション基金事業

CO₂等を用いたプラスチック原料製造技術開発成果報告会

「CO₂を原料とする機能性プラスチック材料の製造技術開発（ポリカーボネート原料製造）」

Uniqueness & Presence

2026年9月17日

三菱ガス化学株式会社東京研究所

原田英文

自社開発技術による製品
(生産品目ベース)
90%以上

世界市場トップシェア
製品数の比率
約40%

カーボンニュートラル関連
プロジェクト数
約60件

カーボンニュートラルに貢献する製品・技術

- 当社ならではの特色ある技術を活用し、カーボンニュートラルに貢献する製品・技術の開発を推進
- 省エネ推進・新エネルギー導入、CCUS実装、原料転換などを進め、GHG排出量を削減

CO₂利用ポリカーボネート



CO₂原料PC
製造プロセス研究.

環境循環型メタノールCarbopath



クリーンアンモニアの調達 (燃料、グリーン水素原料)



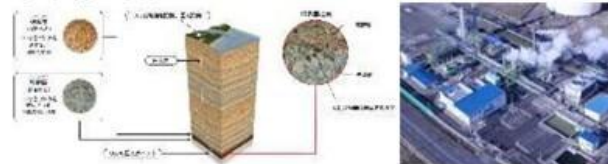
ケミカルリサイクル



全固体電池 (EV向け) 燃料電池 (FCV向け)



CCS / ブルー水素



メタノール：水素キャリア rDME (ジメチルエーテル) * グリーン燃料

*renewable DME：バイオマスや産業
廃棄物を原料として製造されたDME

エネルギー制御システム： 半導体材料



ダイレクトエアキャプチャー (DAC)：特殊アミン



高効率LNG(GTCC *)発電 *ガスタービン・コンバインド・サイクル



※福島ガス発電所提供

地熱発電



※湯沢地熱提供

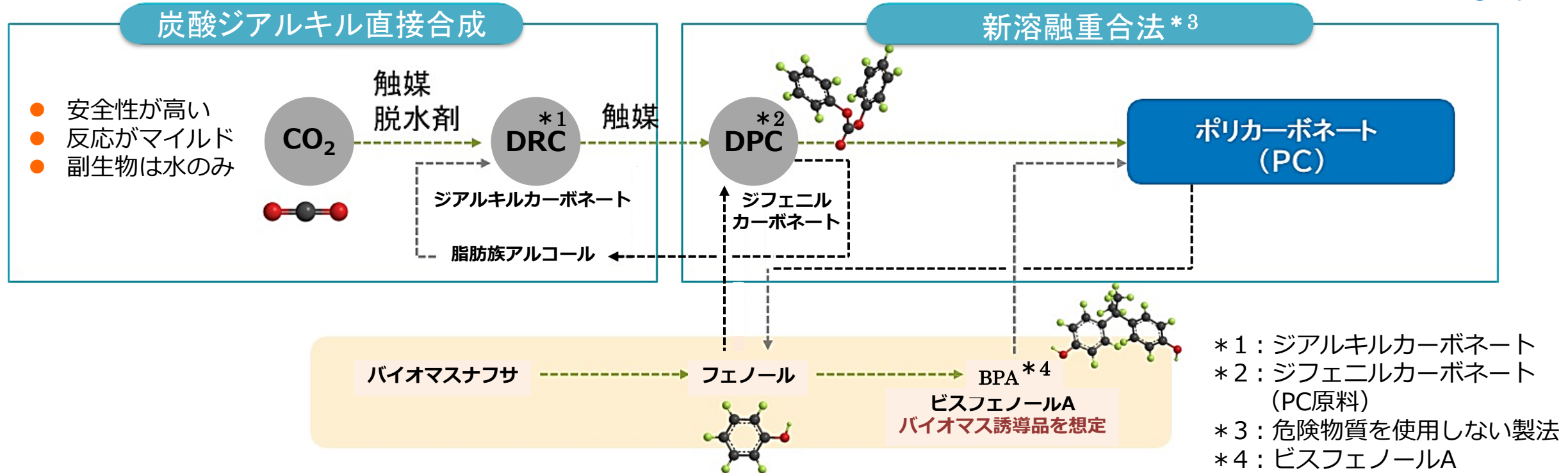
バイオマス原料転換



運転効率化： 自動車向けセンシングカメラ 用光学ポリマー



研究の概略: CO₂ を原料とするポリカーボネート製造検討 (CO₂ to PC)



➤ GI基金事業参画までの研究開発経緯__炭酸ジアルキル直接合成

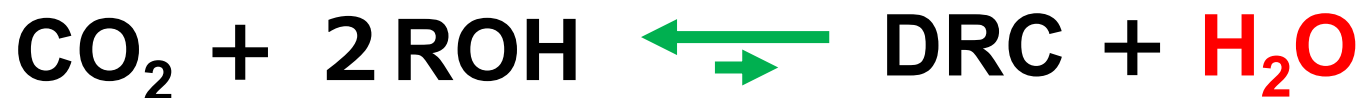
～2014/9 東北大 富重教授と日本製鉄 (NSC) の研究グループが共同研究.

2014/10～2015/9 MGCと日鉄エンジニアリング (NSE) が新たに参画し4者共同研究実施.

2015/10～ MGC東京研究所にて研究継続. NSC, NSEと触媒構造体を共同研究.

2020/6～2021/3 NEDO先導研究プログラムに採択. (MGC, NSC, NSE, 東北大)

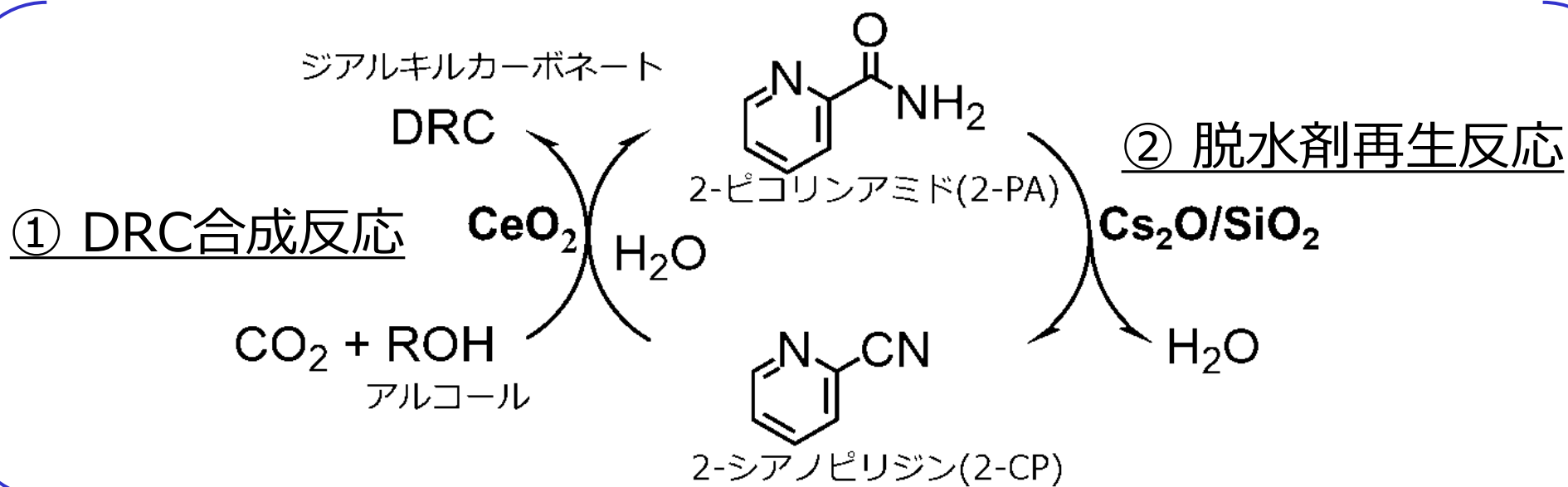
CO₂とアルコール(ROH)からのDRC合成プロセス (水の除去がキーポイント)



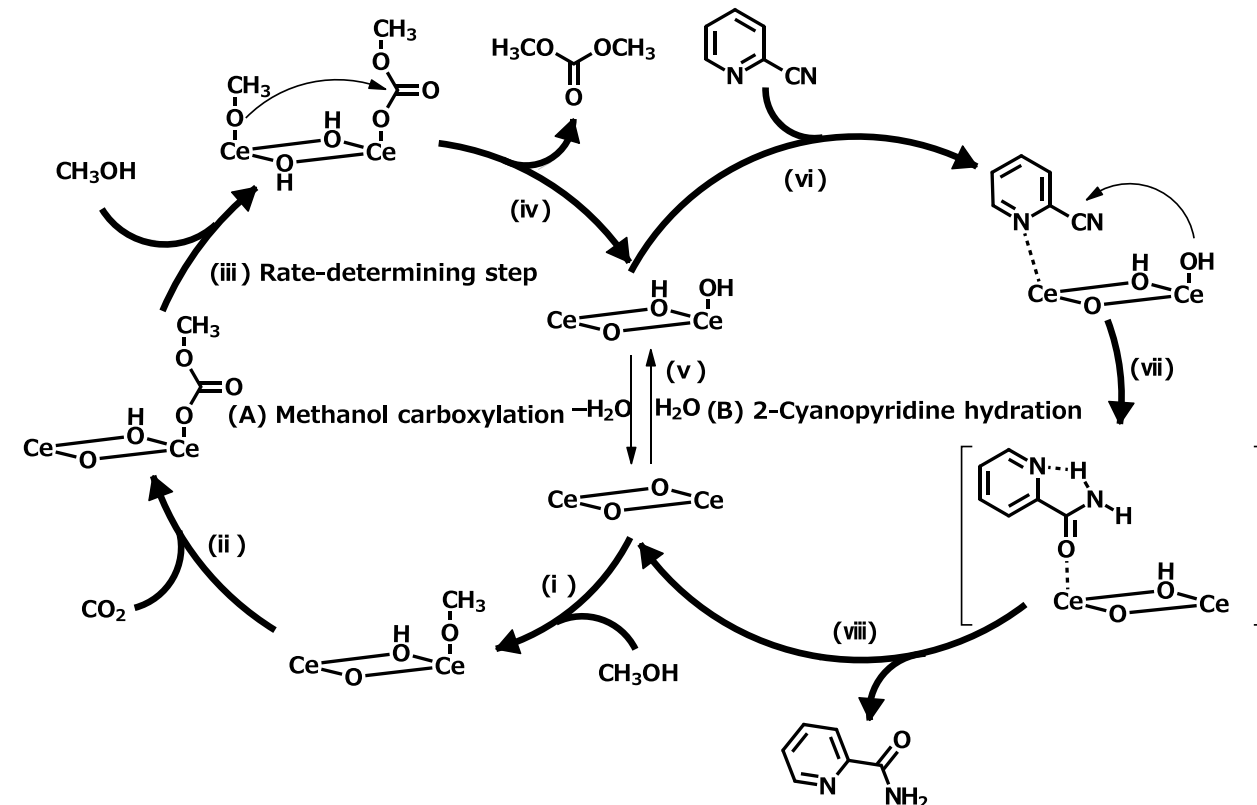
CO₂とアルコールからのDRC生成は**平衡反応** ⇒ 平衡が圧倒的に原料系に偏っている

⇒ **生成水**を即座に除去すれば平衡はDRC生成側に傾く。

(好適な触媒・脱水剤系を富重教授と日本製鉄の研究グループが見出した。)



富重教授の反応 (CO₂とアルコールとの反応生成水を *in situ* で除去)



Reaction mechanism of DMC formation from CH₃OH + CO₂ + 2-cyanopyridine. *6

*6 "Organic carbonate synthesis from CO₂ and alcohol over CeO₂ with 2-cyanopyridine: Scope and mechanistic studies"
Masayoshi Honda, Masazumi Tamura, Yoshinao Nakagawa, Kenji Nakao, Kimihito Suzuki, Keiichi Tomishige
Journal of Catalysis, 318, 95–107, (2014).

*7 "Ceria-Catalyzed Conversion of Carbon Dioxide into Dimethyl Carbonate with 2-Cyanopyridine"
Masayoshi Honda, Masazumi Tamura, Yoshinao Nakagawa, Satoru Sonehara, Kimihito Suzuki, Ken-ichiro Fujimoto, Keiichi Tomishige
ChemSusChem Volume6, Issue8, 1341-1344, (2013).

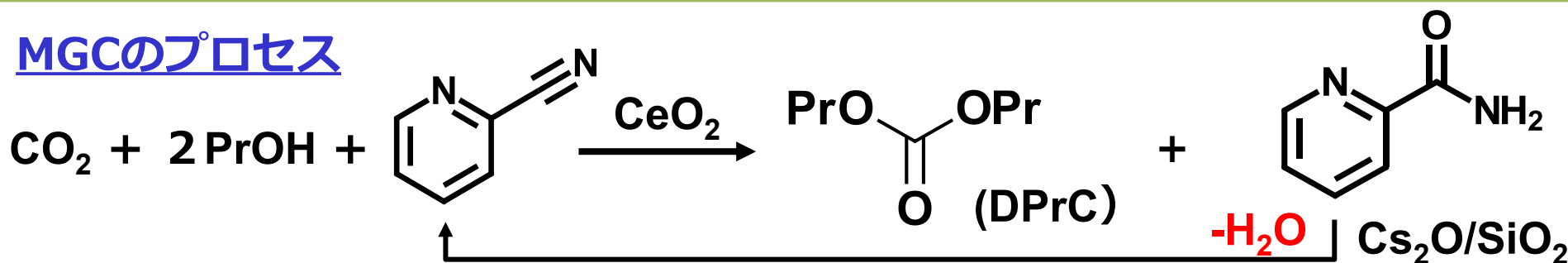
*8 "Comparative Study between 2-Furonitrile and 2-Cyanopyridine as Dehydrants in Direct Synthesis of Dialkyl Carbonates from CO₂ and Alcohols over Cerium Oxide Catalyst"
Wen Sun, Peilang Li, Mizuho Yabushita, Yoshinao Nakagawa, Yuqi Wang, Akira Nakayama, Keiichi Tomishige
ChemSusChem Volume6, Issue24(2023) e202300768

- 塩基性の2-CP溶媒存在下, CO₂の溶解度が十分あり, CO₂の拡散は律速ではない。
- 反応条件がマイルドで副生物が少ない。
- 2-PA再生にシリカ担持アルカリ金属触媒の有効性を世界で初めて見出した。 *7
- 脱水剤は2-フロニトリルも使用可能。 *8

MGCの CO₂とn-プロパノールからのジプロピルカーボネート合成プロセス

- ✓ 反応基質の安全性が高い富重教授の反応を採用
- ✓ DPC合成の消費熱量最小化のため、アルコールにn-プロパノールを採用し、ジプロピルカーボネート(DPrC)を合成することを選択.

MGCのプロセス



➤ NEDO先導研究の成果

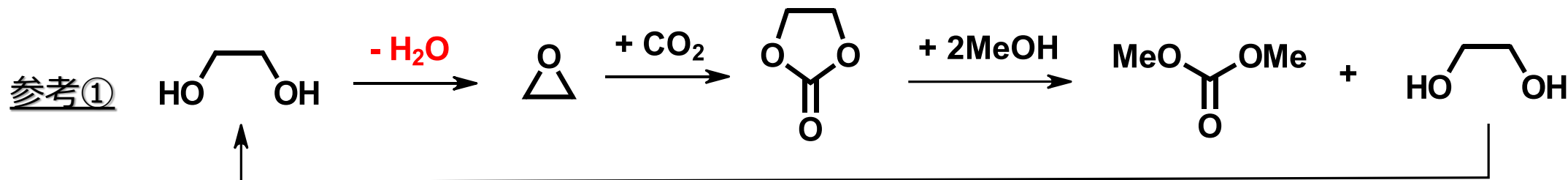
- ✓ DRC合成における煙道回収CO₂の許容不純物濃度を確認.
- ✓ 既知の液相反応では消費熱量が大きい脱水剤再生反応について、気相反応の有効性を見出した（粒子状触媒を使用した250℃未満の検討）.

→ CO₂ to PCプロセスの工業化の可能性を確認した.

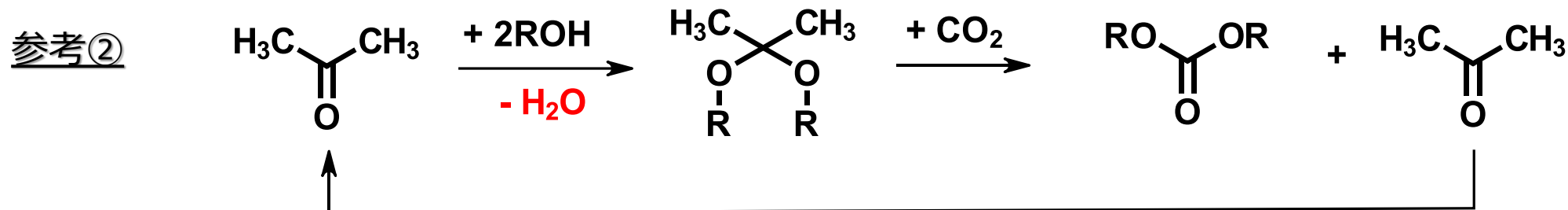
GI基金事業では、更なる反応条件の最適化、反応・蒸留工程を連続した CO₂ to DPC ベンチプラントにてプロセス検証、パイロット設計データ取得を提案.

(参考) アルコールを脱水した後CO₂と反応させる従来のDRC合成の例

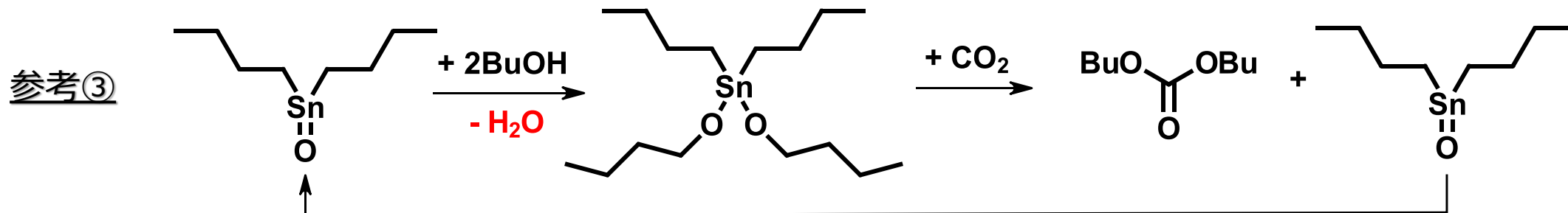
酸化エチレン経由工業プロセス エチレングリコールを脱水し爆発性の酸化エチレンを経由。工程が多い。



アセトンジアセタール経由プロセス アセトンとアルコールの反応で脱水。反応条件が厳しく副生物生成量が多い。



有機スズ化合物使用プロセス 有機スズ化合物とアルコールの反応で脱水。有機スズ化合物のリサイクルが鍵か。



東ソー株式会社様とコンソーシアムを組みグリーンイノベーション(GI)基金事業に参画 CO₂等を用いたプラスチック原料製造技術開発／CO₂からの機能性化学品製造技術の開発

事業の目的・概要

・ポリウレタン原料の製造技術開発

従来原料のホスゲンの代わりに工場等から排出されるCO₂を直接利用し、ポリウレタン原料であるイソシアネートやポリカーボネートジオールの製造技術を開発する。これらCO₂由来のポリウレタン原料を用いて環境対応型の高機能ポリウレタンの実現を目指す。

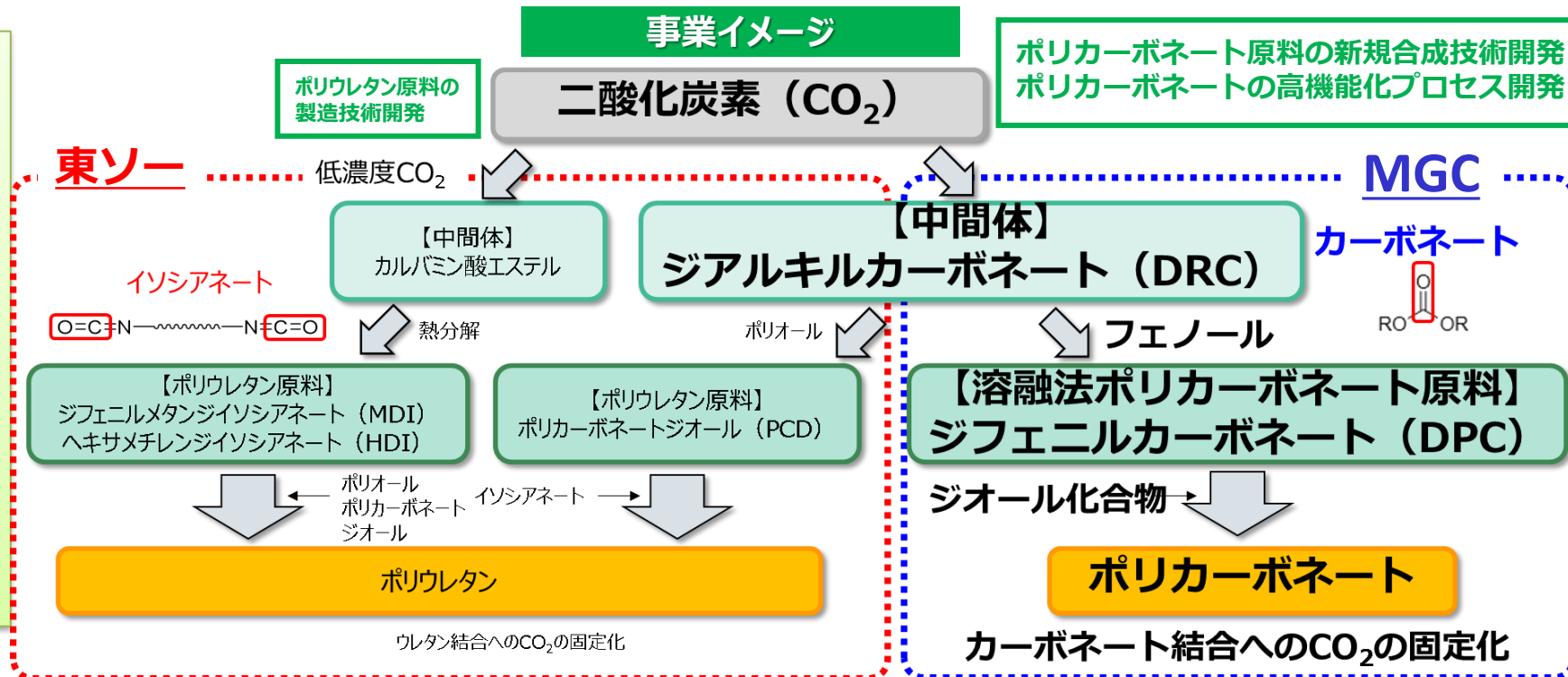
・ポリカーボネート原料の新規合成技術開発およびポリカーボネートの高機能化プロセス開発

従来原料のホスゲンの代わりに工場等から排出されるCO₂を直接利用し、ポリカーボネート原料であるジアルキルカーボネートの新しい合成技術を開発する。この技術を利用したポリカーボネートの高機能化プロセスの実現を目指す。

➤ CO₂ to PC の 研究目標

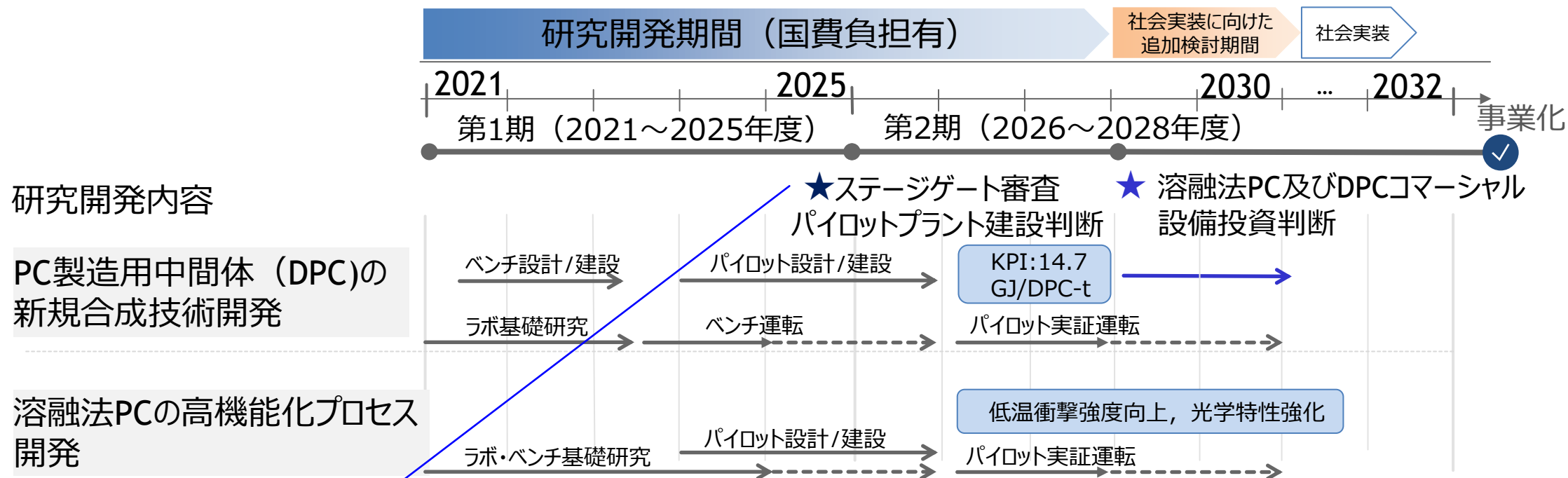
- PC製造用中間体(DPC)製造技術
- ・従来法とのCO₂排出量差 <0
- ・全体プロセスのGHG排出量 を2021年3月末比44%(0.58kg/kg)削減
- ・CO₂有効利用可能なプロセス確立
- ・製品価格現行非ホスゲン法同等以下(製造変動費減)
- 溶融法PC製造技術
- ・CO₂から合成したDPCを使用し更に分歧構造量を従来溶融法より減らす

出典：東ソー株式会社/三菱瓦斯化学株式会社
両社事業戦略ビジョン



GI基金事業採択時のCO₂ to PC研究スケジュール

2022/3～ グリーンイノベーション基金事業に参画し、CO₂ to PCプロセスの社会実装に向けた研究を実施。
(MGC, NSC, NSE, 東北大, (大阪公立大 →) 京都大の5者共同研究.)



○パイロットプラントの設計のため、ベンチプラント運転によるスケールアップデータを取得する。

★ステージゲート審査基準

SG目標Ⅰ：GHG排出量3.50kg/kg-DPC以下

SG目標Ⅱ：DPrC合成工程と2-CP再生工程で発生する副生物生成量の目標0.4mol/kg-DPC以下

SG目標Ⅲ：2-CP収率67.5mol%以上

GI基金事業 CO₂ to PC共同研究における各者の役割

三菱ガス化学(株)

- PC製造用中間体 (DPC)の新規合成技術開発
- 溶融法PCの高機能化プロセス開発

東北大学 福島教授

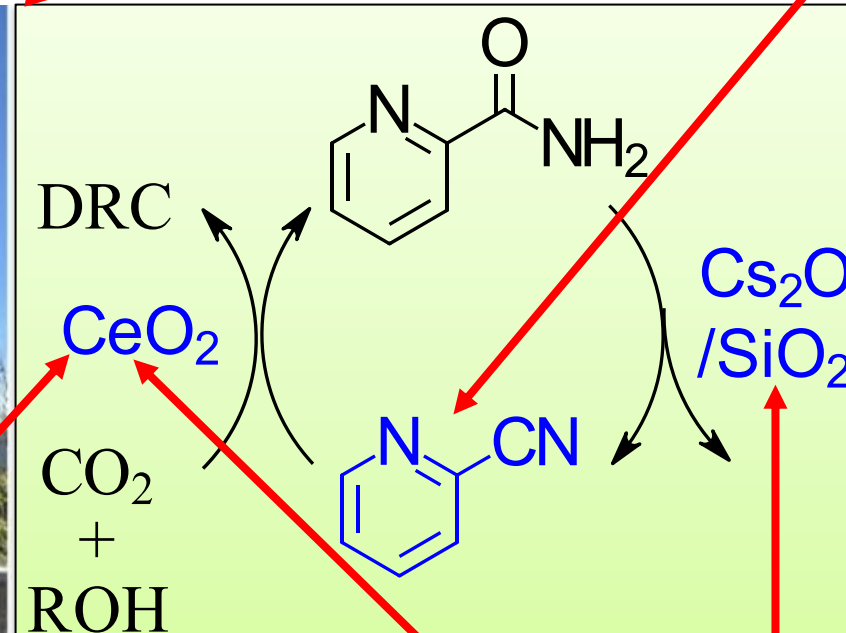
- 要素技術の目標設定 (LCAを観点として)

日鉄エンジニアリング(株)

- 触媒構造体の実装及び反応器形式研究

東北大学 富重教授

- 新規脱水剤の検討・アミド脱水触媒分析



京都大学 田村教授

- 合成反应用新規触媒系の開発及び、その触媒の分析

日本製鉄(株)

- 触媒構造体の製造プロセス研究開発

①前段工程(DRC合成工程)工業化への課題

課題：触媒 CeO_2 は平均粒径 $10\mu\text{m}$ と細かく，DRC合成後の分離・回収が困難。

→ 触媒を固定しバッチ反応から連続流通式反応に，反応条件を最適化し消費エネルギー削減。



CeO_2 触媒粉末

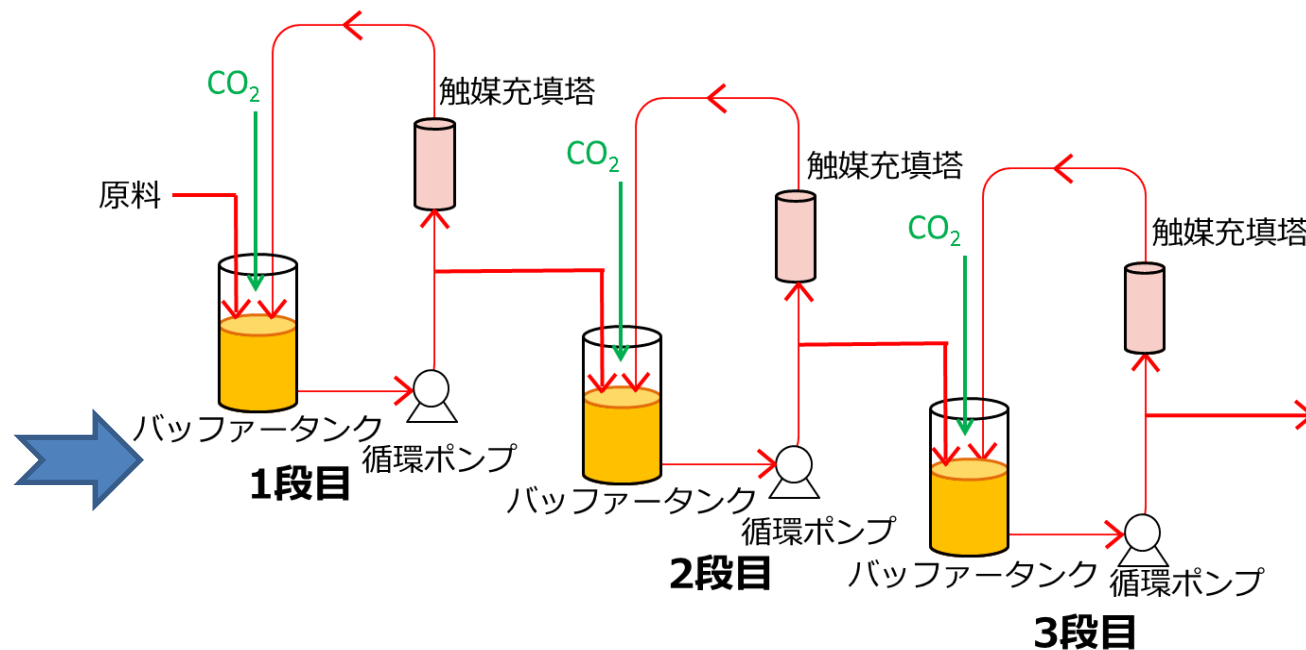
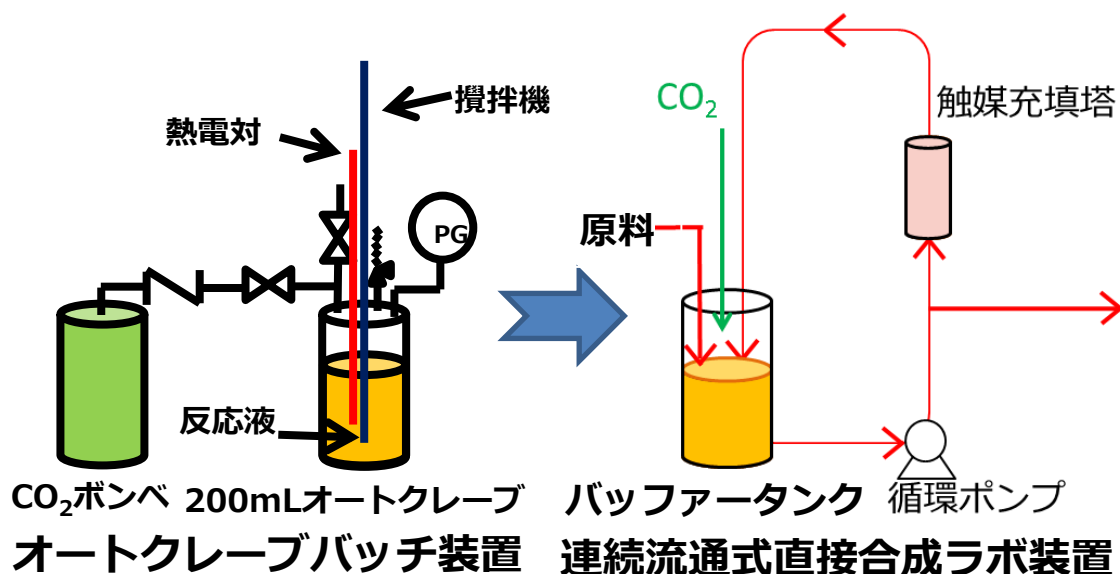
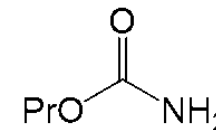
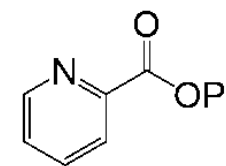
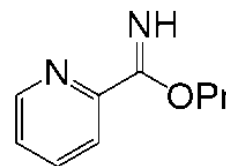
<https://chemcraft.su/product/24586>



ハニカム固定化触媒
OD : 42mmφ×50mmL



副反応生成物



連続流通直接合成カスケード式ベンチプラント装置

連続流通3段カスケードプロセスでの評価結果



触媒をハニカムに固定し，反応条件の最適化及び3段カスケード反応で効率化.

		カスケード反応		
		1段目	2段目	3段目
反応条件	CeO ₂ (mol) / 2-CP (mol/hr) / PrOH比 (mol/hr)	12/100/200	progress	progress
	圧力 (MPa) / 温度 (°C)	2.0/132	←	←
	滞在時間	各段：80分 (Total：4時間)		
評価	炭酸エステル収率 (2-CP基準, mol%)	22.5	35.0	42.7
	副生物生成率 (DPrC収率100%換算 mol%)	1.08	1.42	1.85
	DPrC合成～蒸留分離回収・リサイクル～触媒再生の消費エネルギー (GJ/t-DPC) *9	2.8		

*9：脂肪族アルコール種に由らない消費エネルギーの比較と，CO₂～DPCまでの全系の消費エネルギーを計算するため，単位DPC量の製造に必要なDRC製造の消費エネルギーで比較.

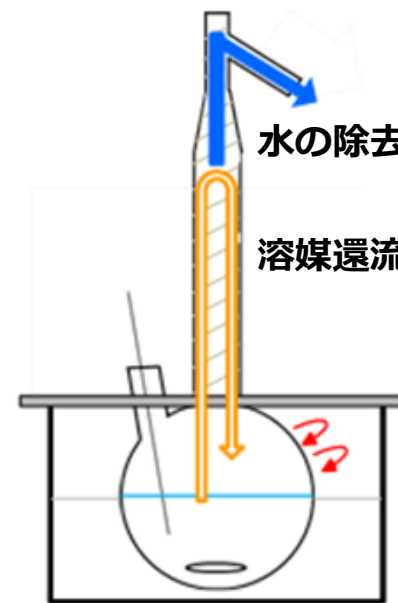
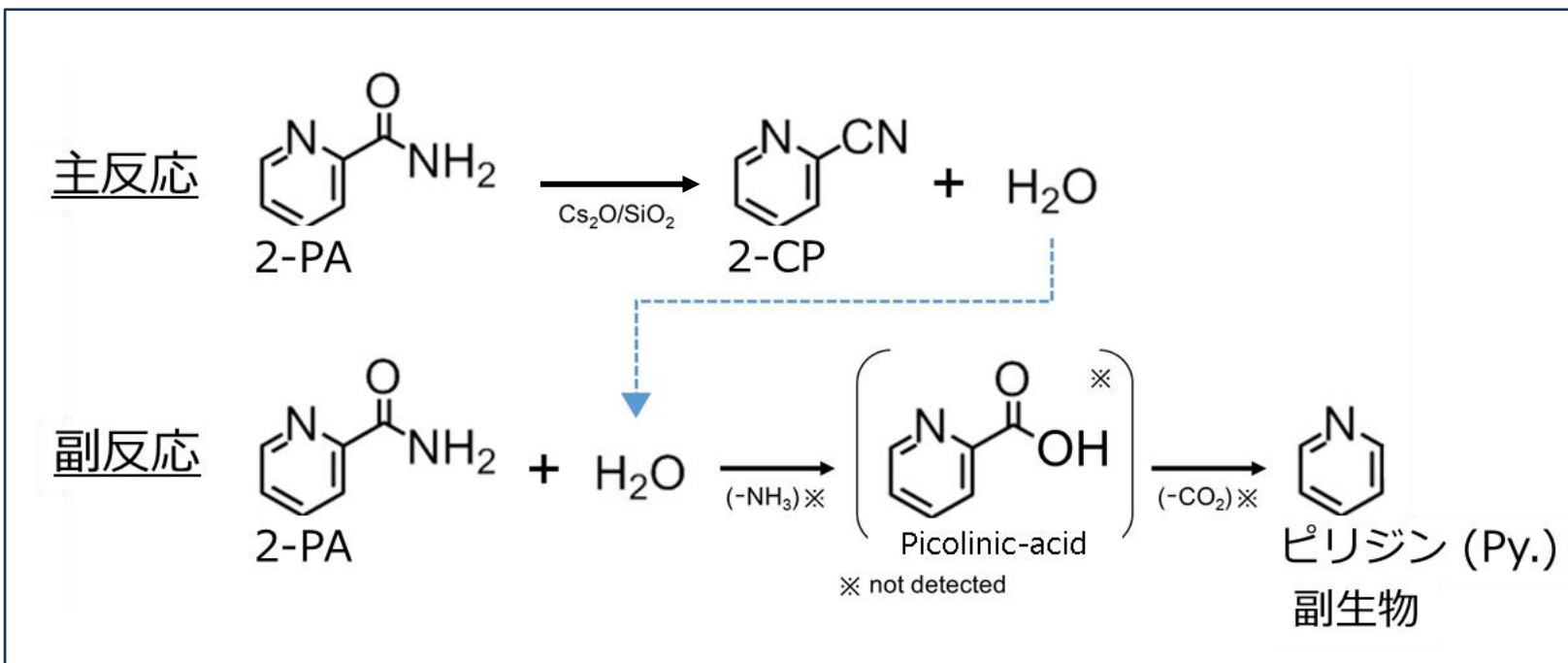
- DRC工程の消費エネルギーを削減.
- 触媒をハニカム固定し産業利用可能なDRC直接合成プロセスの構築に成功.
- 前段工程の産業利用可能な連続流通式直接合成プロセスの構築に成功

②脱水剤再生工程(2-CP再生工程)工業化への課題

課題：報告されている液相反応では，2-PAから2-CPを再生する反応時間が長い（8時間以上）．
分解抑制のためには多量の溶媒の還流が必要．

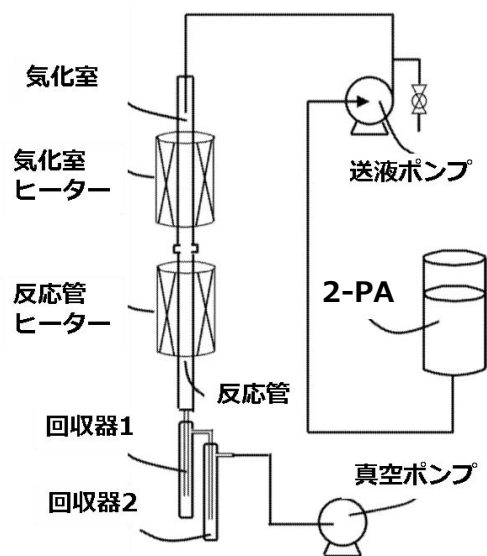
⇒ 消費熱量が大きく実機プロセスへの適用が困難（125GJ/t-DPC*10）．

*10：CO₂～DPCまでの全系の消費エネルギーを計算するため，単位DPC量の製造に必要な消費エネルギーとして算出．

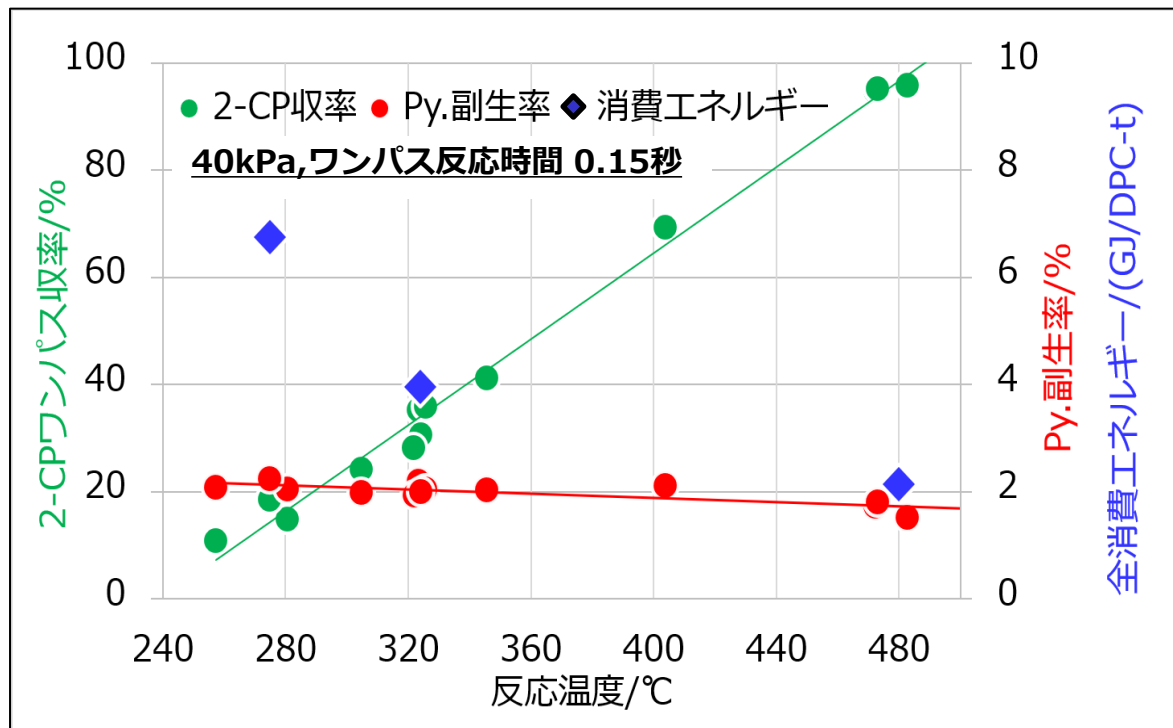


Cs₂O/SiO₂触媒粉末を
液相に懸濁し反応

気相反応での消費熱量削減検討結果



CS₂O/SiO₂触媒粉末を
ハニカムに担持し気相反応
ベンチ用OD:42mmφ×50mmL
(日本製鉄調製)



気相反応にトライ：触媒もハニカムに固定化

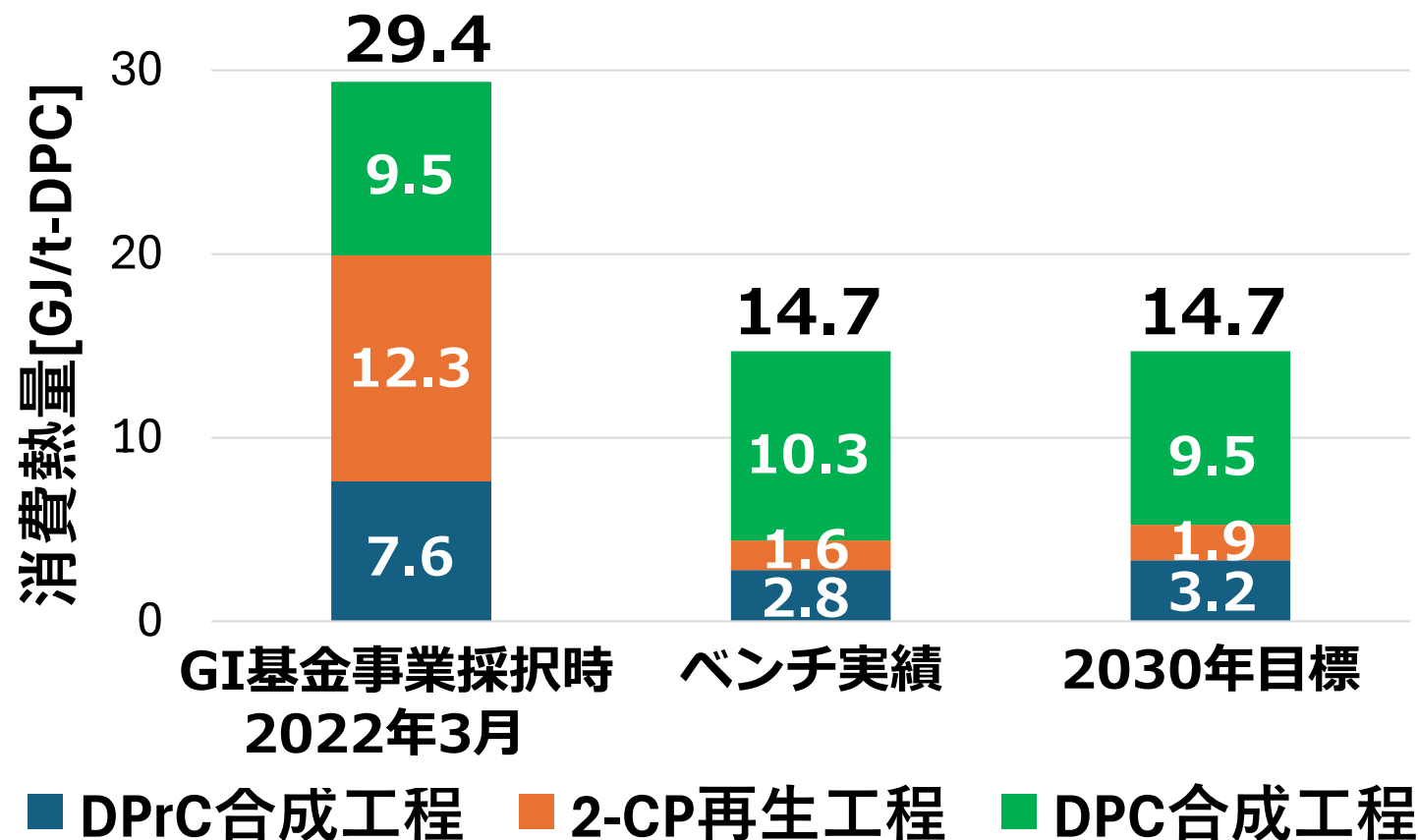
- ワンパス反応時間 1秒未満に短縮成功。
→ エネルギー消費の大きな削減を達成。
- 副生率*¹¹は反応温度を上げても増えない。
- 400℃以上での反応による加熱量増加よりも、収率向上による脱水剤再生全行程（気化～反応～蒸留分離回収・リサイクル）に渡る消費エネルギーの削減量が多い。

- 現在
 - ベンチプラントワンパス収率 : 96mol%
 - 脱水剤再生反応の消費エネルギー : 0.74GJ/t-DPC
 - 気化～反応～蒸留～触媒再生 : 1.62GJ/t-DPC

✓ 気相反応にて消費エネルギーの大幅な削減を達成し工業化への目途が付いた

* 11 : 2-CP収率100%換算のピリジン生成率

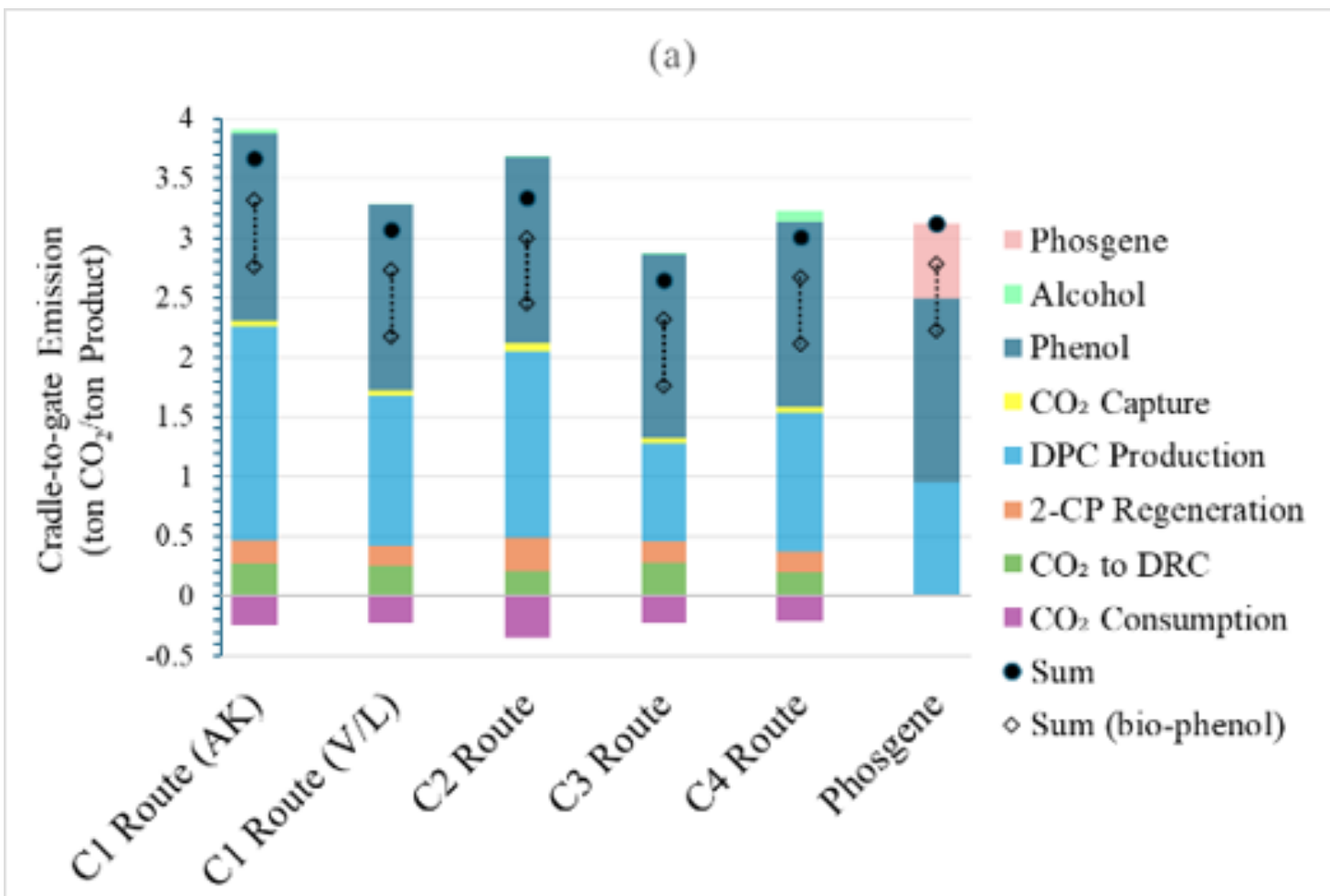
CO₂ to DPCプロセスの消費エネルギー削減実績



原料加熱から、反応、未反応原料及び生成物の蒸留分離回収・リサイクル、触媒再生までの加熱用役

➤ ベンチプラントにおける技術検証運転において2030年目標を達成。

CO₂ to DPC プロセスのGHG排出量比較（福島教授の論文より）



➤ GHG排出量(t-CO₂/t-DPC) *12

・ MGC C3 Route : 2.65

・ ホスゲン法 : 3.12

➤ CO₂を原料とした安全でGHG排出量の少ないDRC製造プロセスの工業化に目処を付けた。

Cradle-to-gate CO₂ emissions for each route (a) Itemized emission amount(AK = Asahi Kasei; V/L = Versalis/Lummus) *12

*12 "Comparative analysis of CO₂-based alternative pathways for diphenyl carbonate production"

Tsai-Wei Wu, Hajime Ohno, Anqing Wang, Alexander Guzman-Urbina, Yousuke Shinkai, Hiroki Furuhashi, Ryotaro Umezu, Shiang-Tai Lin, Yasuhiro Fukushima

Chemical Engineering Journal 520 (2025) 166354.

GI基金事業でのこれまでの研究成果の纏め

研究開発内容

ゲート審査項目

これまでの開発進捗

PC製造用中間体(DPC)の新規合成技術開発

○ベンチプラントの目的達成
SG目標；

I．消費熱量削減

II．副生物生成量の抑制
(物質収支の把握)

III．2-CP再生工程における目標収率の達成



○ベンチプラント運転によるスケールアップデータの取得
(パイロットプラントの設計に反映)

SG目標 I：GHG排出量3.50kg/kg-DPCの目標を達成した。

SG目標 II：DPrC合成工程と2-CP再生工程で発生する副生物生成量の目標0.4mol/kg-DPC以下を達成した。

SG目標 III：2-CP収率92mol%を達成し、目標67.5mol%以上をクリアした。

熔融法PCの高機能化プロセス開発

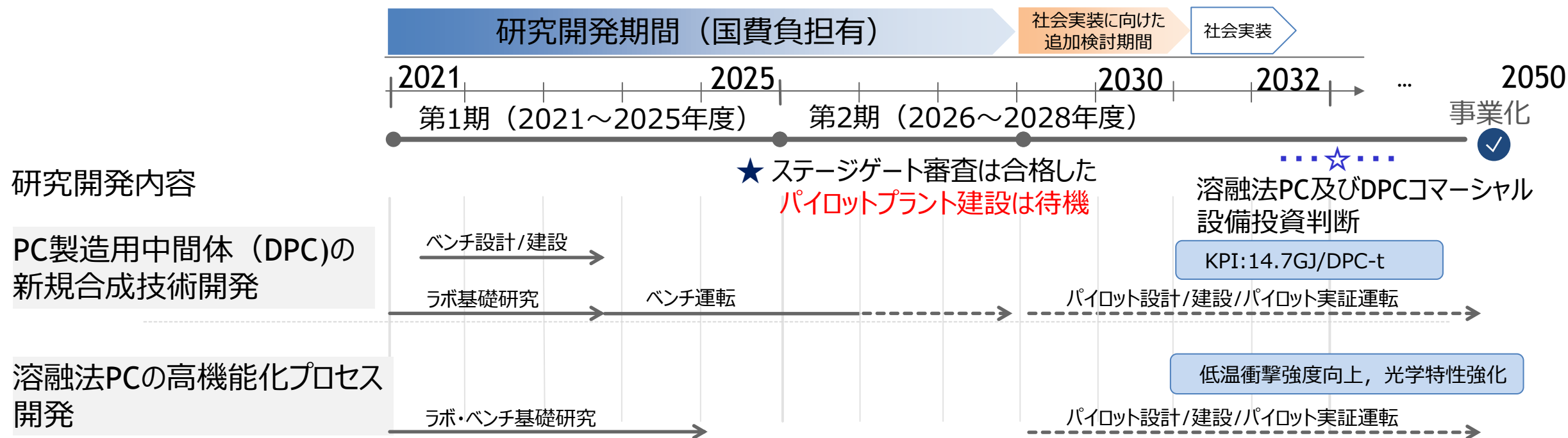
○ポリマー中の分岐構造量
500ppm 以下



①金属系重合触媒の低減，②アンモニウム塩系助触媒の併用，③工程時間の短縮検討を実施。
その結果ポリマー中の分岐構造量を低減し，界面法PCと同等の物性を得た。

- ✓ ステージゲート審査目標をクリア。
- ✓ 製造変動費も既存の非ホスゲン法より低コストの結果を得た。
- ✓ 得られたデータを元にパイロットプラントの基本設計を実施。
→ パイロットプラント建設判断のステージゲート審査を通過。

事業環境の変化に伴うCO₂ to PC事業化スケジュールの修正



事業環境の変化

- ✓ PC市況悪化によりパイロット予定地だった鹿島工場のPC素材プラントの停止を決断。
- ✓ 建設コストの高騰からパイロットプラントサイズを縮小する検討を行ったが、コストメリットを見いだせない。
- ✓ 市況の回復も当面見通せず、現時点での社会実装が見込まれない。

➤ GI基金事業期間でのパイロット計画実施は困難な状況。今後の対応について関係機関と調整中。

本研究において、基礎実験から工業化に向けたスケールアップ検討に渡り、共同研究にて多大なご協力並びにご指導して下さった、

国立大学法人東北大学 大学院工学研究科 富重圭一教授はじめ研究室の皆様、

国立大学法人東北大学 大学院環境科学研究科 福島康裕教授はじめ研究室の皆様、

国立大学法人京都大学 理工学研究所 田村正純教授はじめ研究室の皆様、

日本製鉄株式会社の皆様、日鉄エンジニアリング株式会社の皆様、

触媒研究にご協力頂いた**触媒メーカーの皆様、**

皆様に感謝申し上げます。皆様のご協力があったからこそ、工業化が見える現在地までたどり着くことが出来ました。

この成果は、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の補助事業（JPNP21021）の結果得られたものです。

本日まで参加頂きました皆様,
ご清聴ありがとうございました.