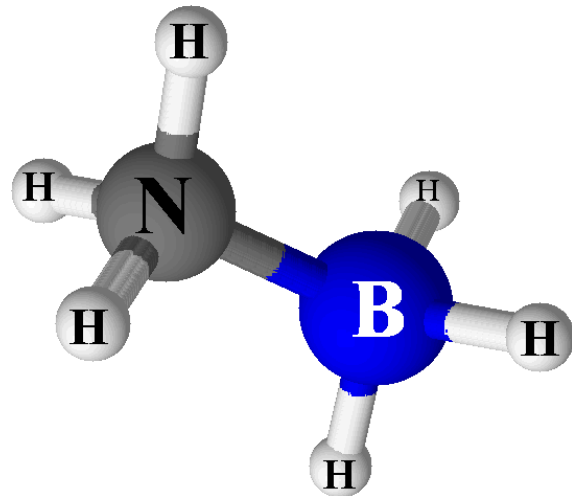


燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題  
解決型産学官連携研究開発事業/  
水素利用等高度化先端技術開発/  
移動式FC用水素源アンモニアボランの社会実装  
に向けた先端技術開発



中川 鉄水

**国立大学法人琉球大学、**

ハイドロラボ株式会社、崇城大学、I-PEX、  
昭和飛行機工業

2022年7月27日

連絡先：中川  
琉球大学  
tessui@sci.u-ryukyu.ac.jp

# 事業概要

## 1. 期間

開始 : (西暦) 2020年7月

終了 (予定) : (西暦) 2025年3月

## 2. 最終目標

- ① アンモニアボラン合成：純度90%以上、原価10円/gで10 kg/日で生産可能なシステム確立
- ② 水素放出：水素中のNH<sub>3</sub>濃度0.1ppm以下、17 SLMを1時間安定供給可能なシステム確立
- ③ リサイクル：加水分解・熱分解共に低コストリサイクル方法の確立
- ④ 輸送：基礎物性（安全性含む）の解明、長期保存方法の確立、輸送容器開発

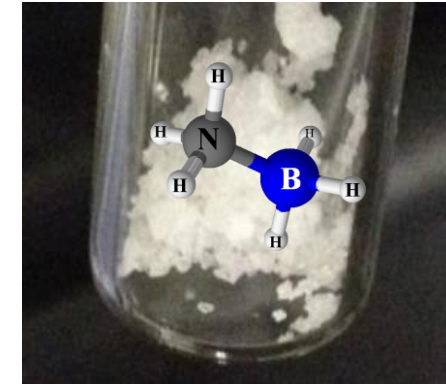
## 3. 成果・進捗概要

- ① 合成：10 kg/日生産で原価10円/g試算の合成法決定。100 g/日製造装置の歩留まり問題改善中
- ② 水素放出
  - 加水分解：ギ酸or触媒で常時NH<sub>3</sub>5ppm以下（フィルターで除去可）、水素発生容器設計中
  - 熱分解：1hで11質量%放出成功、NH<sub>3</sub>放出抑制は検討中
- ③ リサイクル：加水分解リサイクル方法の簡略化取り組み中、熱分解リサイクル基礎データ取得中
- ④ 輸送：基礎物性・安全性試験済、長期保存2年OK、固相での輸送条件（温湿度）最適化中

**進捗は概ね順調**

# 1. 事業の位置付け・必要性

## アンモニアボラン(AB)とは



アンモニアボラン

- 長期保存・分散型FCに有利

- 高水素密度 (19.5wt%、148 kg/m<sup>3</sup>)

- 簡便に合成可 (プラント化容易)
- 空気中で安定 (酸・触媒を除く)
- 簡便に水素放出 (熱、加水分解)

- 大量合成で販売価格低下

- 発電ユニット別燃料コスト比較 (概算) ※水素1 Nm<sup>3</sup> (= AB 460 g) で1 kWh発電として計算

• 蓄電池(電力料金)	:	30円/kWh	=	0.07円/g AB
• ガソリン発電機・水素FC	:	100円/kWh	=	0.2円/g AB
• カセットボンベ式発電機	:	600円/kWh	=	1.3円/g AB
• 単三アルカリ電池 (百均4個)	:	6111円/kWh	=	12.2円/g AB

- 他用途でも利用可

- ジェット燃料

※D. Schubert, *M. Borax Pioneer* 2001, 20

- 窒化ホウ素の原料

※D.P. Kim, et al., *Polym. Adv. Technol.* **1999**, 10, 702-712.

- 還元剤

※N. Zeng, J. Fan, and G.D. Stucky, *JACS* **2006**, 128, 6550-6551.

**課題解決・量産で一大マーケットとなる可能性大**

# 1. 事業の位置付け・必要性

**目的** アンモニアボラン製造、輸送・保存、水素発生、リサイクル技術を確立  
→ 1 kW級FC用水素発生容器の製品化への道筋を示す

## 実施意義

- 将来普及する1 kW級FC給電機の実用性を広げる  
→ 高圧タンク・合金が使いづらい場所（スペース、高圧規制などの問題）、バックアップ用（長期間保存）、移動式水素ステーション、長距離輸送（水素キャリアとして）など
- 知見を活かす：小型（<100W）、大型（>10kW）へ横展開
- 低コスト化 → 化成品利用も副次的に増加 → 新産業の活性化

還元剤、半導体フィラー等

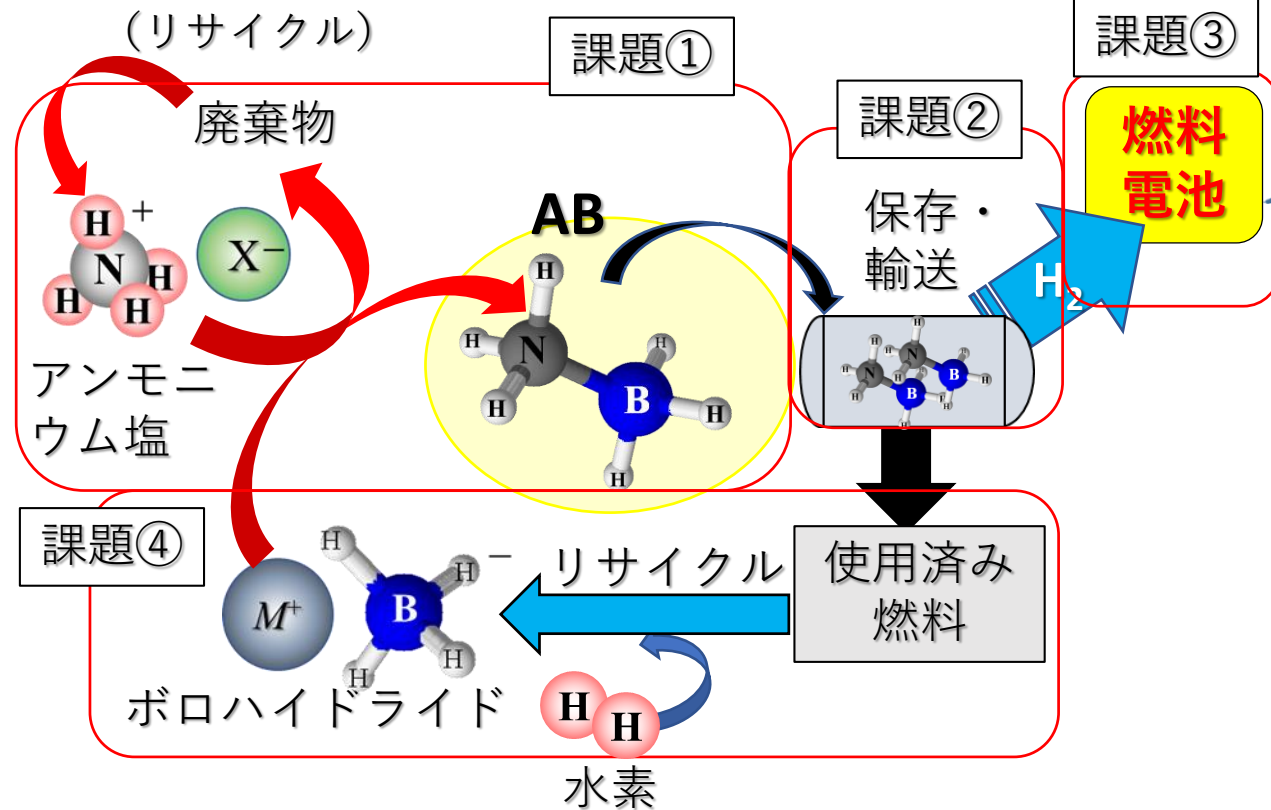
**技術開発→製品開発→商品化の道筋を固める**

## 2. 研究開発マネジメントについて

### 目標

- ① 10 kg/日製造・原価10円/g
- ② 大量輸送容器・技術開発
- ③ 高純度水素（NH<sub>3</sub>濃度<0.1ppm）17 L/min安定供給
- ④ 低コストリサイクル技術の開発

### 【研究開発の概要】



電気

既存技術との比較

アンモニアボラン	既存技術
常圧貯蔵	700気圧 (高压タンク)
大気中・ 長期保存可	空気非接触 (合金・軽元素系)
高密度 (最大20質量%)	5質量% (高压タンク)

ABサプライチェーン構築への課題を解決

## 2. 研究開発マネジメントについて

### 本製品の利用が想定されるケース（例）

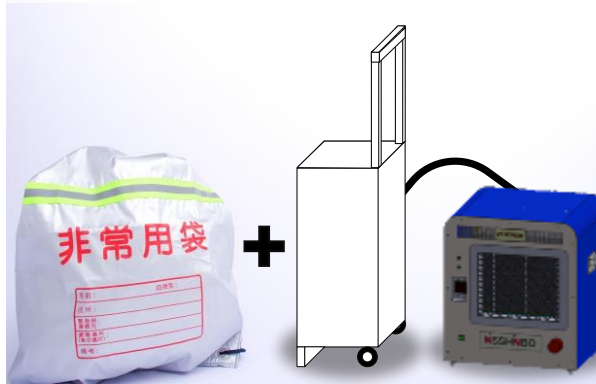
キャンプ



建設鉄工・工事現場



非常用電源



ドローン



屋外イベント



屋台



トンネル工事



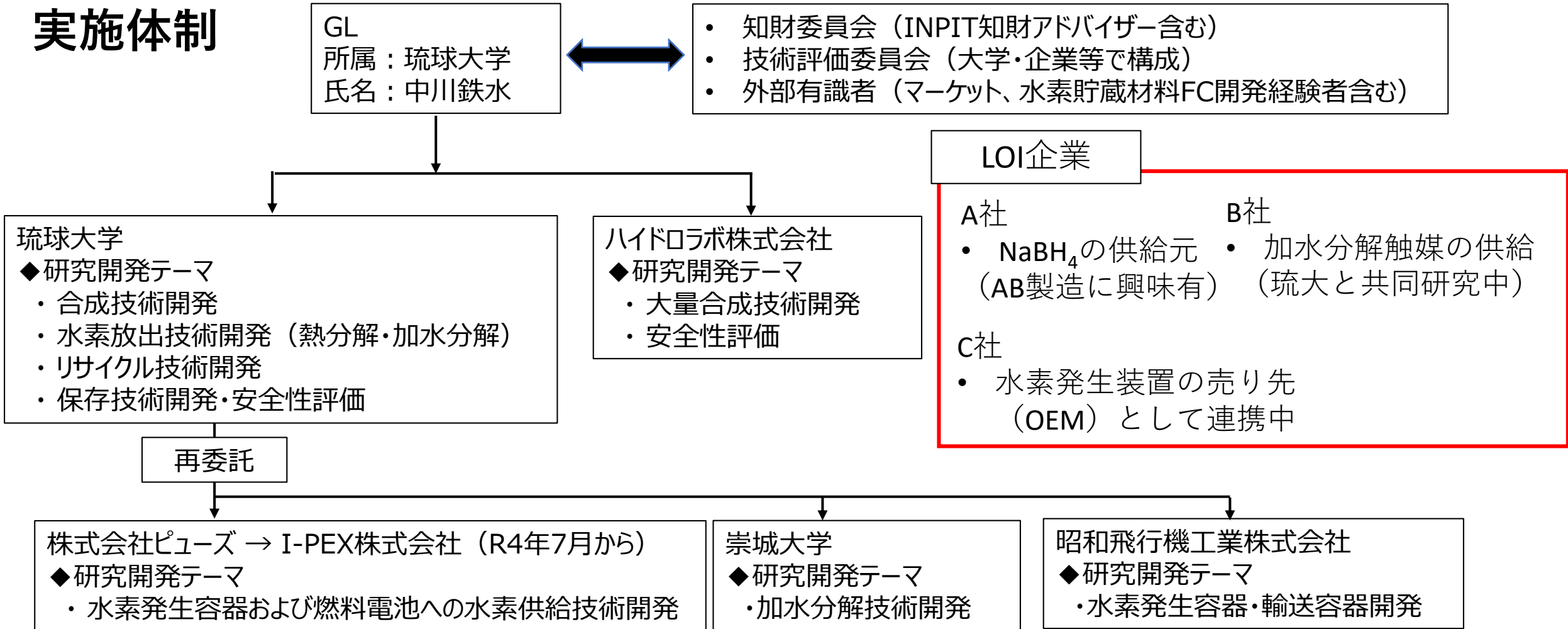
キッチンカー



**高压タンクが使いづらい（高付加価値の）場所から徐々に拡大**

## 2. 研究開発マネジメントについて

### 実施体制



#### <協力企業>

アイ・エレクトロライト（株）

- ・水素放出容器製作の助言・試作
- ・安全性・物性評価・輸送容器開発支援

**各部門で事業化を狙う企業が参画**

※大量合成の企業は未確定

## 2. 研究開発マネジメントについて：スケジュール

事業項目	2020年度			2021年度				2022年度				2023年度				2024年度 (参考)				
	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	
①合成技術																				
i) 合成法の確立	要素技術の開発							確立した合成法を①-iiに反映												
ii) システム確立								スケールアップ												
②水素放出技術																				
i) NH <sub>3</sub> 放出抑制	熱分解・加水分解技術の開発							②-ii、iii、Vへ反映												
ii) 熱分解速度向上	要素技術の開発							②-Vへ反映												
iii) 小型化								要素技術開発							容器開発					
iv) 高压水素生成																水素放出実験				
V) 流量安定化	要素技術の開発							小スケールで評価→スケールアップ												
スケールアップ								大型化												
③リサイクル技術																				
i) 加水分解再生								達成後は①-iに組み込む												
ii) 熱分解再生								要素技術の開発												
④品証・輸送技術																				
i) 物性評価	毒性評価・可燃性評価							④-iiiへ反映												
ii) 経時変化調査								容器別純度評価												
iii) 輸送技術開発							輸送形態の最適化							輸送容器・充填法開発						
⑤市場調査・啓蒙活動	年1回以上の展示会・コンペ参加、マーケティング活動																			

### 事業終了後

- AB製造：  
試薬 → 化成品・水素源  
(プラント大型化)
- 水素発生装置：  
ドローン&移動式FC用  
へ製品化 (OEM販売)
- リサイクル：  
加水分解・熱分解再生  
プラント製品開発
- 保存 (品証) 輸送：  
取扱説明書作成、  
輸送・保存容器大型化

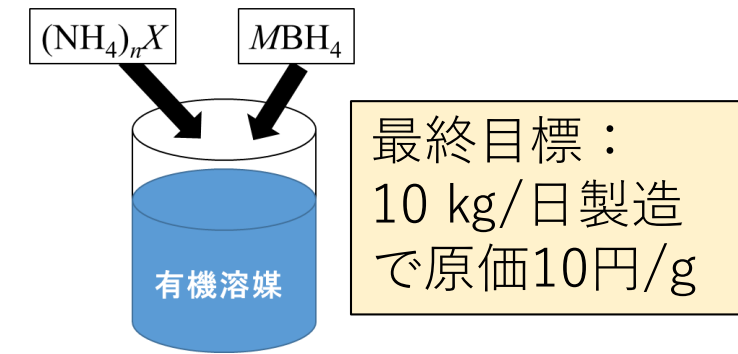
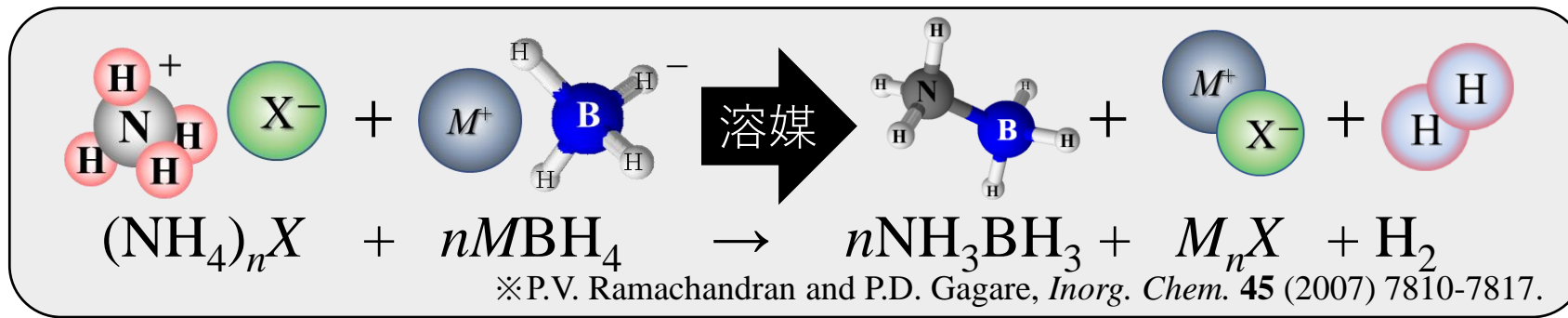
**発売→大量流通→AB & 製品価格低下を目指す**



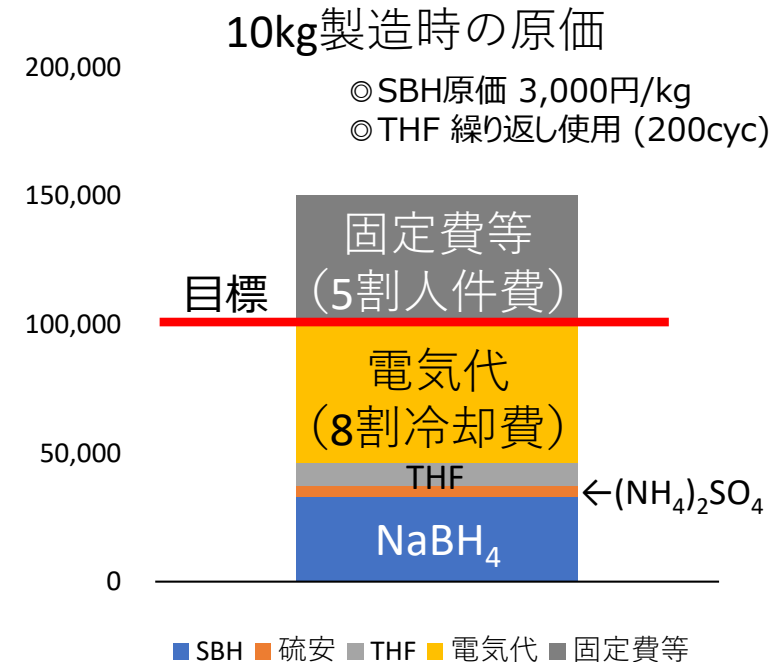
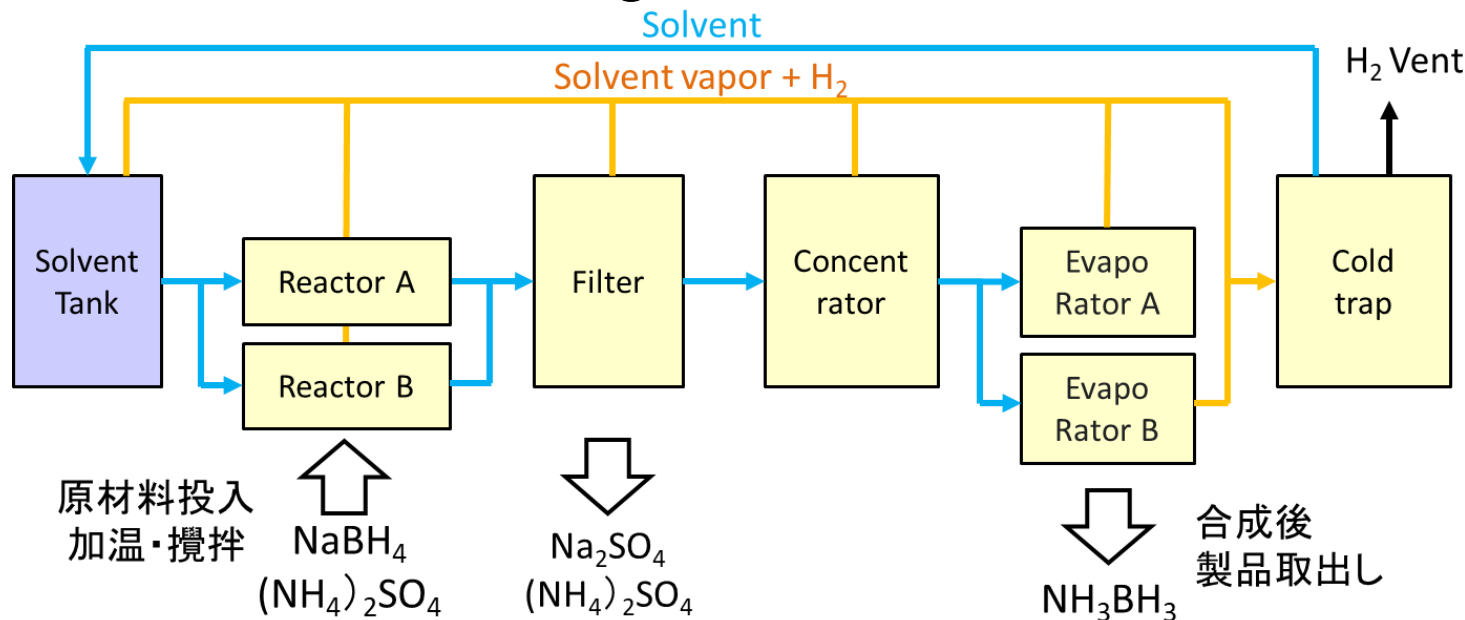
### 3. 研究開発成果について：合成

目標：10 kg/日製造で原価10円/g

既存合成法：イオン交換反応（アンモニウム塩＋ボロハイドライド）



◎大量合成システム開発（100g/日製造装置）：密閉バッチ式連続工程



- ・ 純度90%以上のアンモニアボランの合成成功
- ・ 現状15円/g → 自動化・乾固時の冷却法・運用方法等改良で原価10円/g 達成可

### 3. 研究開発成果について：合成

#### スケールアップによる弊害 = 歩留まり問題

- 純度低下対策：原料混合方法の検討
  - 一気に混合 → 局所熱による分解
  - 解決策：少量ずつ投入 → 純度向上

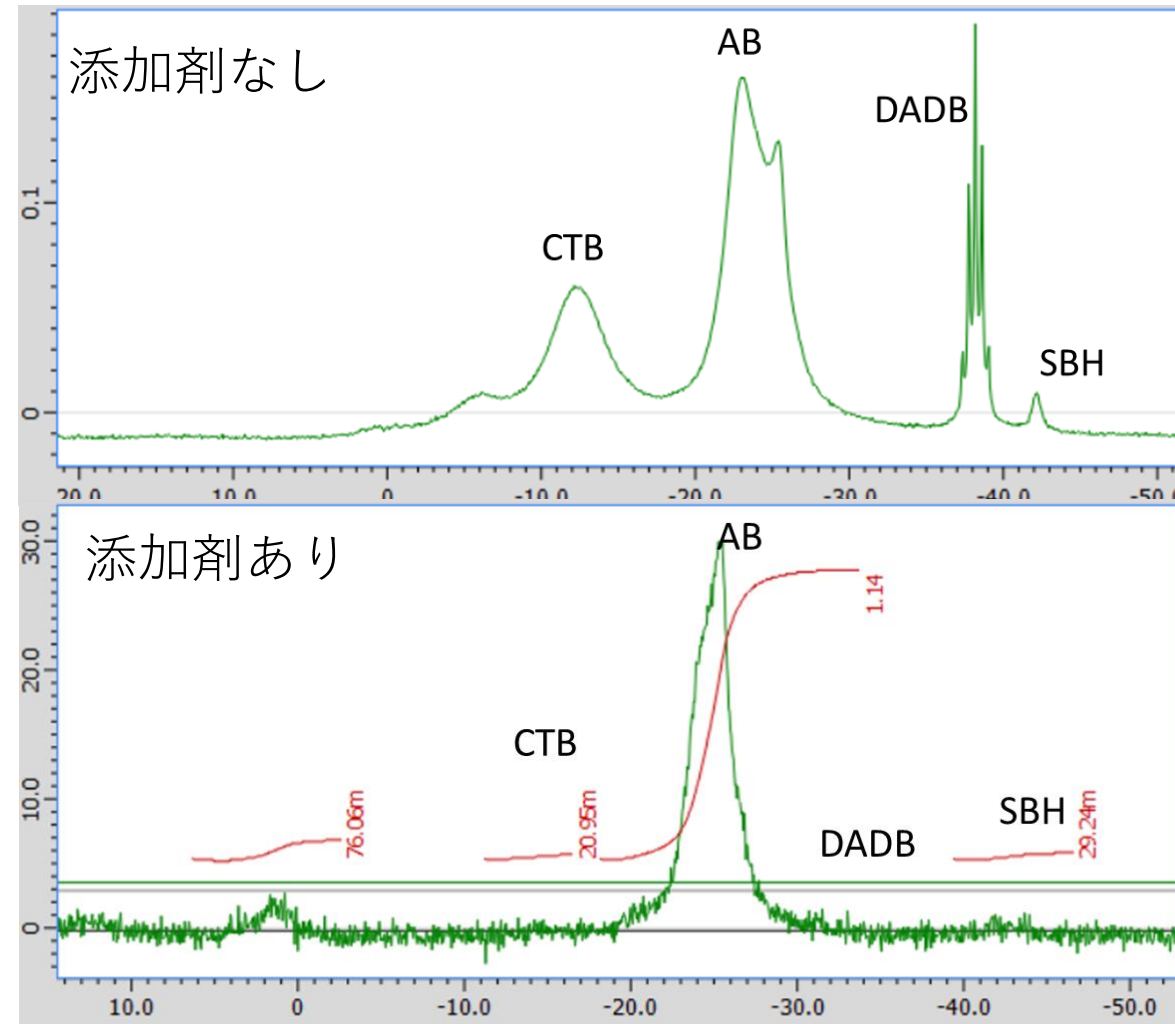
➡ **小スケール反応が有利**  
= 小型バッチ式 or マイクロリアクター

- 低コスト化対策：溶媒使用量減
  - 溶液濃度増加 → 不純物増加
  - 解決策：AB分解を抑える添加剤  
→ 倍以上の濃度で収率・純度大幅向上

➡ **AB分解抑制が重要**

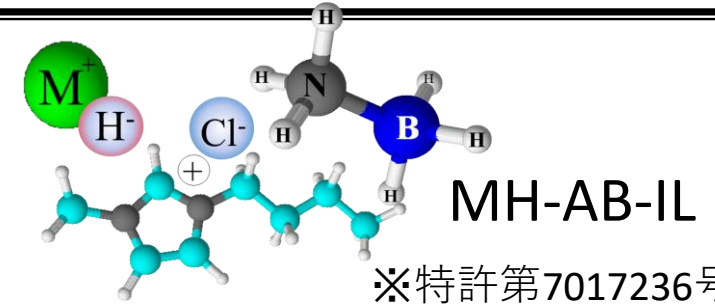
**更なる低コスト化に成功**

合成したABの<sup>11</sup>B-NMRチャート



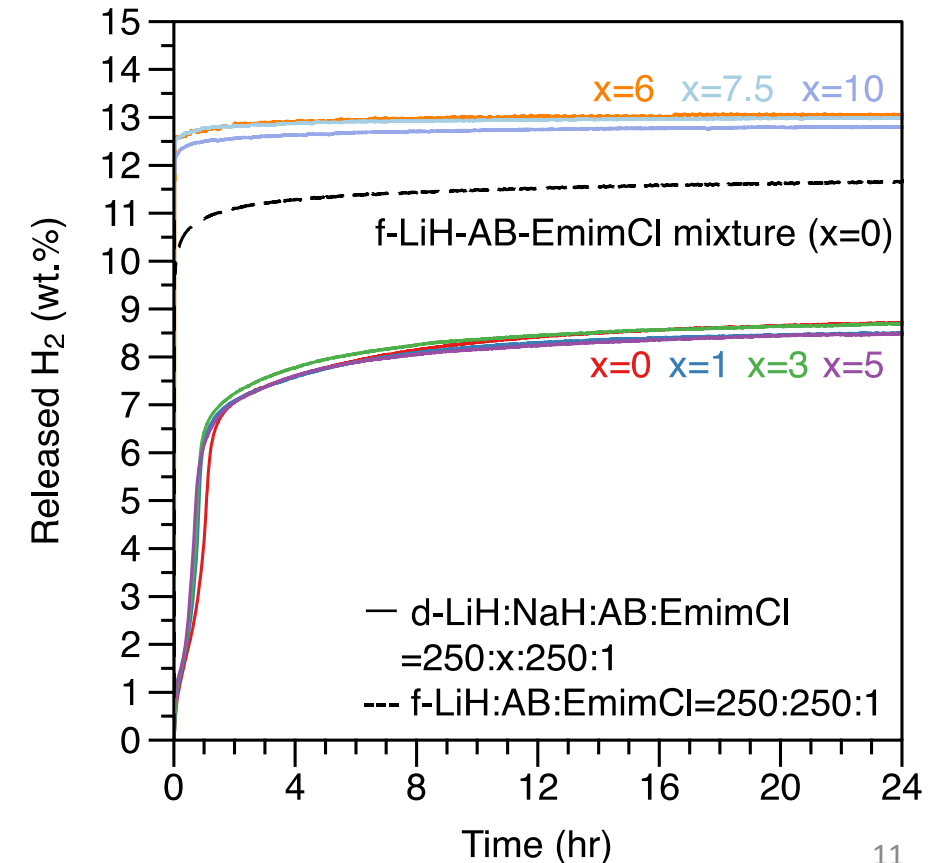
### 3. 研究開発成果について：水素放出（熱分解） 目標：水素放出 > 7質量%@1h、NH<sub>3</sub>濃度常時 < 0.1ppm

#### 高速水素放出法の高度化



- 250LiH + 250AB + 1EmimCl（イオン液体）混合  
→ 1時間、60 °C、10質量%以上の水素放出
- 高速水素放出の理由：反応熱による自己加熱
  - 金属セルで200 °C以上まで到達
  - 最初の数分～数十分で反応の8割完了
  - AB粒径・粒度分布が反応速度に影響
- 課題：水素放出能力の経時劣化
  - 原因究明 → LiH表面酸化
  - 解決策：NaH少量添加 → LiH/NaH < 50で解決
- 更なる課題：アンモニア濃度低減
  - 原因究明 → 到達温度 ∝ アンモニア放出量
  - 現在解決策模索中

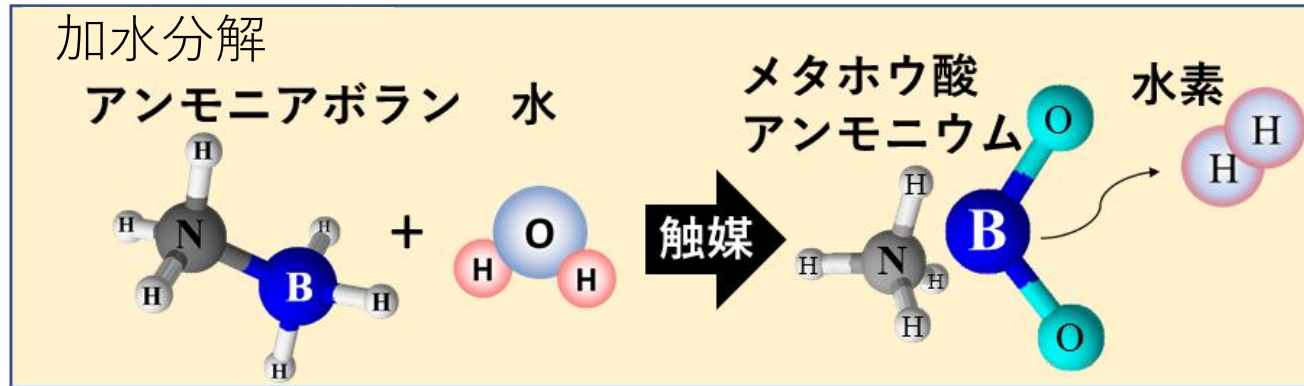
LiH : NaH : AB : EmimCl = 250 : x : 250 : 1  
60 °Cにおける熱分解挙動



経時劣化の解消に成功

### 3. 研究開発成果について：水素放出（加水分解）

目標：NH<sub>3</sub>濃度常時 < 0.1ppm、17 SLMを1h供給



#### ① 触媒型 ※特願2022-017569

- リン酸緩衝液でNH<sub>3</sub> 5% → < 20ppm
- 課題：水素放出速度の低下
- 原因究明 → 頻度因子低下  
(緩衝剤の触媒表面吸着)
- 解決策：触媒と低親和性緩衝剤の選択

#### ② 犠牲試薬型 ※論文1報投稿中、特開2022-105446

- クエン酸混合でNH<sub>3</sub>濃度 < 0.1ppm
- 課題：重量密度・酸の分離・NH<sub>3</sub>遅延放出
- 解決策：ギ酸の利用（検討中）

#### ③ 水素供給装置（犠牲試薬型）

- 20 W級小型デモ機製作・改良
  - ▶ 小型ポンプ導入 → AB流量制御・連続水素発生
  - ▶ 課題：廃液がたまると速度低下
  - ▶ 解決策：検討中

20 W級FCの発電装置（昨年度動画で紹介）



- 1 kW級FC発電用容器試作（製作中）
  - ▶ 課題：容器材質の耐熱・耐薬性
  - ▶ 解決策：材質の選定（耐久試験）

**課題は多いが解決可能**

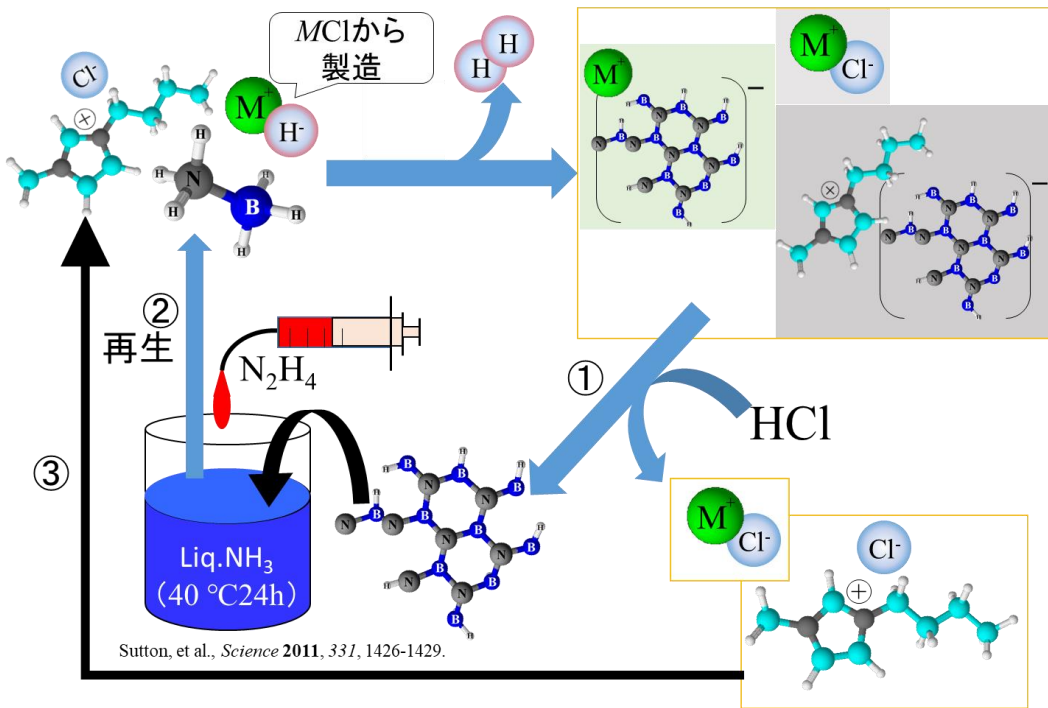
### 3. 研究開発成果について：リサイクル

目標：リサイクルコストの低コスト化（10%）

#### ① 熱分解

- 課題：再生法未確立
- 解決策：成分分離 → 再生
- 現状：一回での再生ができないことを確認

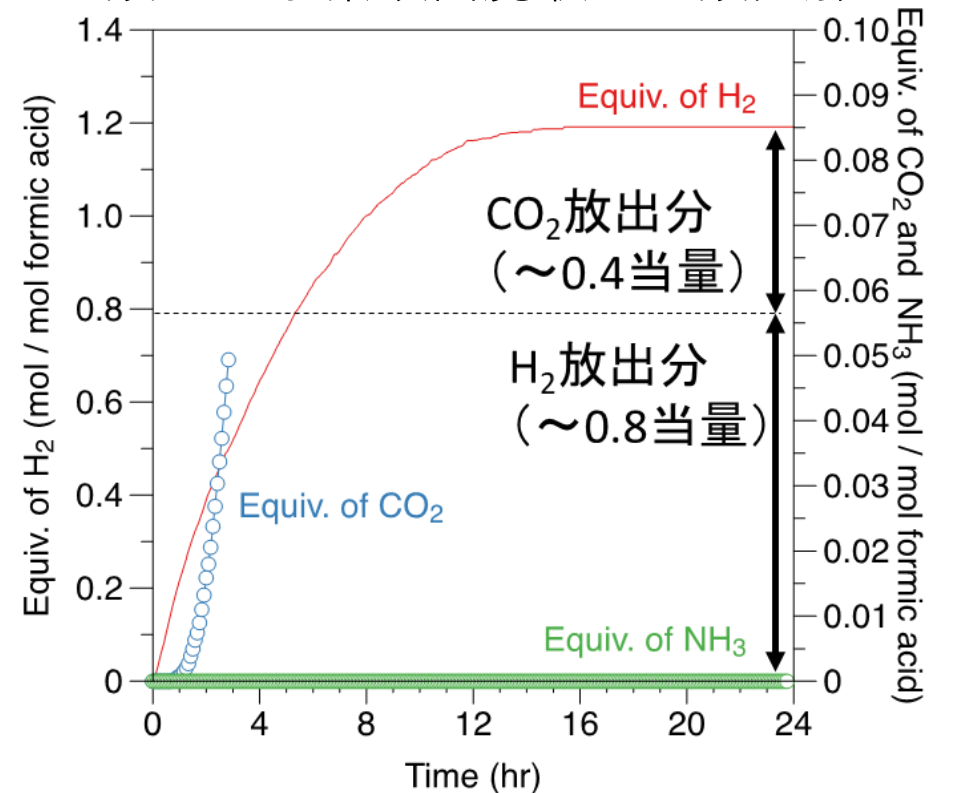
熱分解再生法（案）



#### ② 加水分解（犠牲試薬）

- 課題：クエン酸とホウ酸の分離困難
- 解決策：ギ酸利用 & 液中で分解

ギ酸 + AB水素放出廃液のギ酸分解



- 現状：ギ酸アンモニウム分解不可

どちらも処理法の確立が必要

### 3. 研究開発成果について：品証および輸送技術

目標：大量・高密度輸送技術・輸送容器の開発

#### ① 基礎物性評価

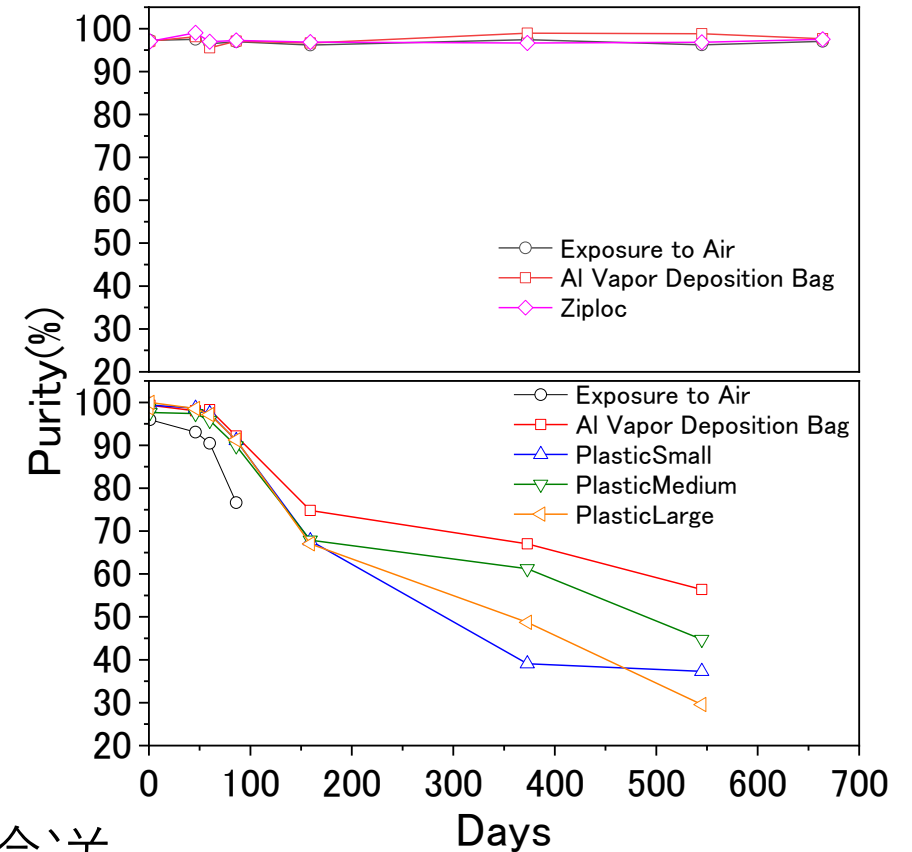
- 毒性等：毒物・発ガン性の可能性
- 可燃性：可燃物（非危険物）
- 溶媒との溶解性：水、THF、ジオキサ  
ン、ジグリムの相図作成論文1報掲載決定

#### ② 保存性評価

- 固体
  - 室温：2年以上保存可（高純度維持）
  - 加湿・加温：40℃以上・高湿度で劣化
- 水溶液
  - 室温：半年以内で劣化
  - 40℃：1週間以内に劣化
- 液体アンモニア
  - 室温：8カ月以上保存可（高純度維持）
  - 60℃：1週間で純度85%まで低下

※F. Guo, et al., Int. J. Hydrogen Energy (2023) In press.

#### 水溶液・固体の保存試験



#### ③ 輸送

- タンク内温湿度のデータ取得中
- 小型容器製作中

計画通り進行

## 4. 今後の見通しについて（まとめ）

- 実用化・事業化に対する今後の課題と対応方針
  - 合成：歩留り・純度向上・使用溶媒量削減 → 小スケールで解決して大型化
  - 水素放出
    - ✓ 加水分解：水素密度向上 → 水の使用量削減、酸と触媒のハイブリッド化
    - ✓ 熱分解：NH<sub>3</sub>濃度低減法確立 → 添加物で対応
    - ✓ システム（加水分解）：耐薬性・耐熱性 → 容器材質決定 & 発電実験
  - リサイクル：方法未確立 → 成分分離 + 再生
  - 保存・輸送：データ不足 → 更なる基礎データ取得
- 実用化・事業化に向けた具体的な取り組み（計画や戦略等）
  - 連携企業（特に製造）を模索：展示会・学会等で声掛け・説明
  - 認知度向上・ニーズ掘り起こし：講演会・Web・メディアで啓蒙活動
  - サプライチェーンの構築：マーケティングチーム結成で情報収集・アセスメント

**幅広い視点で計画を遂行**