

# 事業概要 (安全性評価Gr.)

<個別事業名> 低GWP混合冷媒の安全性・性能評価

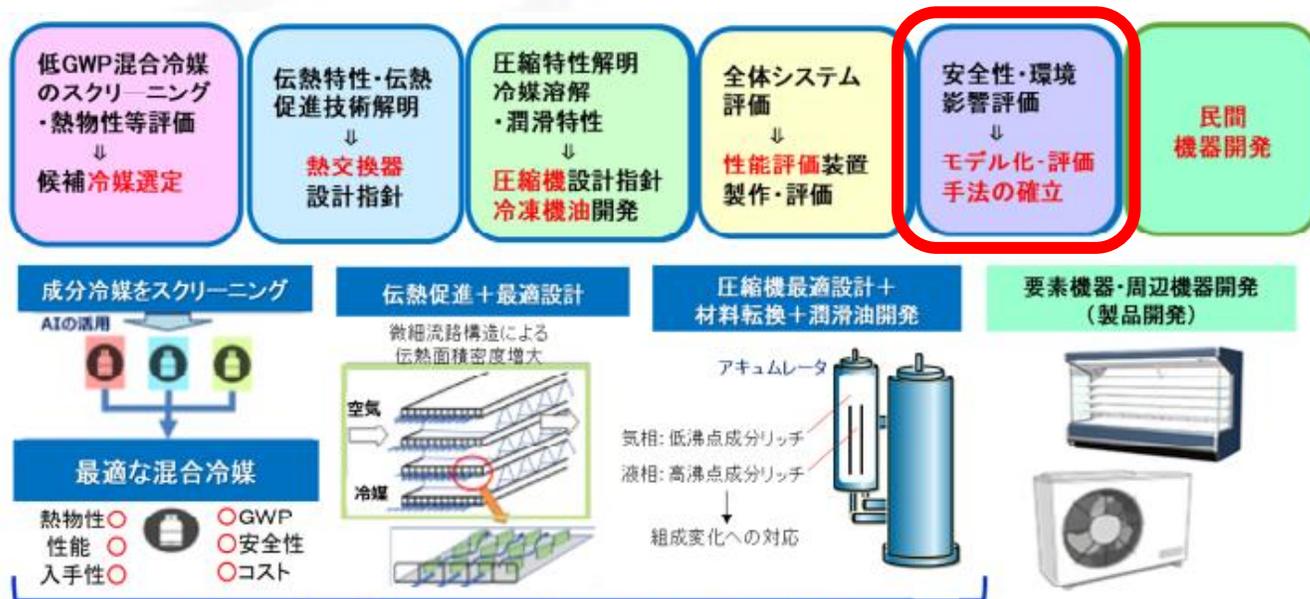
<事業期間> 2023年4月～2028年3月

<事業概要>

本研究では、HFO系次世代低GWP混合冷媒の安全性評価を通じて社会実装を推進する。HFO系冷媒の安全性リスクとして懸念されている自己分解反応について、圧縮機内着火源や発生エネルギーの解明、複数の着火法による反応発生境界の検証により、自己分解反応評価法を確立する。次世代冷媒の普及のため、開発した評価法により安全性評価を行う他、国際規格化を推進する。

技術課題① : HFO冷媒の自己分解反応に関わる安全性評価

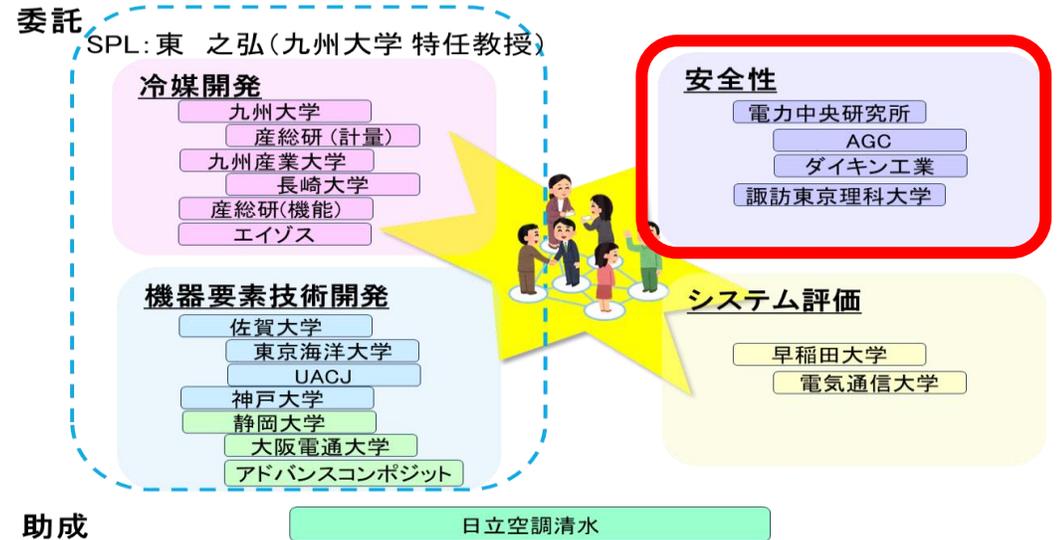
技術課題② : 圧縮機内での自己分解反応誘発要因の特定とエネルギー評価手法の開発



性能評価装置により全体評価を実施。結果を各研究にフィードバック

当社は九州電力株式会社と共同で、圧縮機内着火源の解明とエネルギー評価手法の開発

PL: 飛原 英治 (東京大学 名誉教授)



# 背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

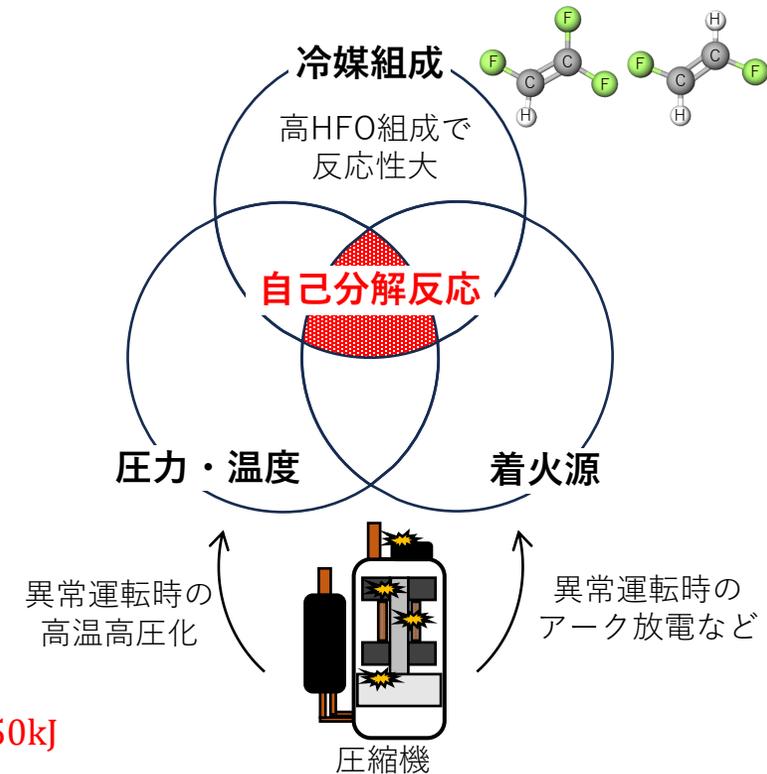
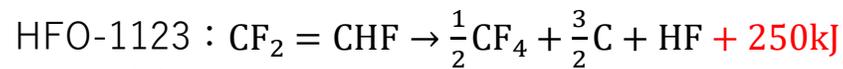
## ● 背景：

HFO1123やR1132(E)といったHFO系冷媒は優れた環境性や熱物性から、次世代グリーン冷媒として有望であるが、**自己分解反応**に係る安全性の懸念がある。

- **自己分解反応**：外部から与えられるエネルギーによって、2個以上の分子がお互いに反応して、2種類以上の異なる種類の生成物に分解する化学反応。不均化反応とも言う。
- HFO-1123, R1132(E)は自己分解反応し得る。発熱反応であり、圧力・温度の著しい上昇を引き起こす。
- 以下の3要因の複合で発生し得る。
  - ・ 冷媒組成（高HFO組成）
  - ・ 圧力・温度
  - ・ 着火源
- 酸素は不要。大気漏洩しなくても冷媒回路内で反応する可能性。可燃性リスクとは異なる事故リスクがある。
  - ・ 事故リスク例：圧縮機内での反応
- 自己分解反応の評価法は未確立。リスク評価も課題。

冷媒構造と自己分解反応式

HFO-1123	R1132(E)
AGC開発	ダイキン工業開発
CF <sub>2</sub> =CHF	CHF=CHF (trans.)
GWP<1	GWP<1



自己分解反応発生要因

# 背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

## ●背景：

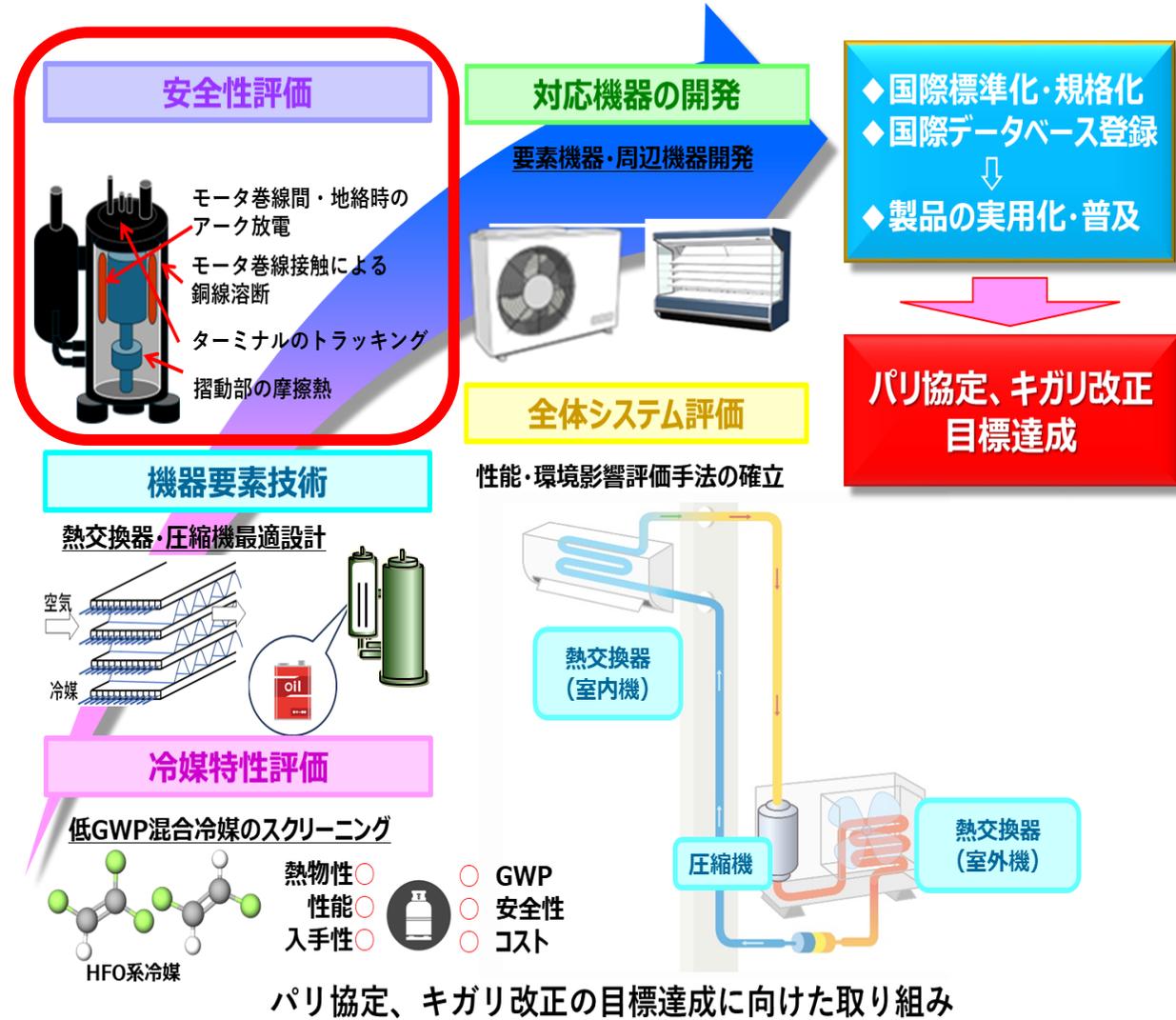
HFO1123やR1132(E)といったHFO系冷媒は優れた環境性や熱物性から、次世代グリーン冷媒として有望であるが、自己分解反応に係る安全性の懸念がある。

## ●目的：

圧縮機内の事故誘発要因調査やその発生エネルギー調査を行い、自己分解反応評価法を確立する。次世代HFO冷媒のリスク評価を行う。

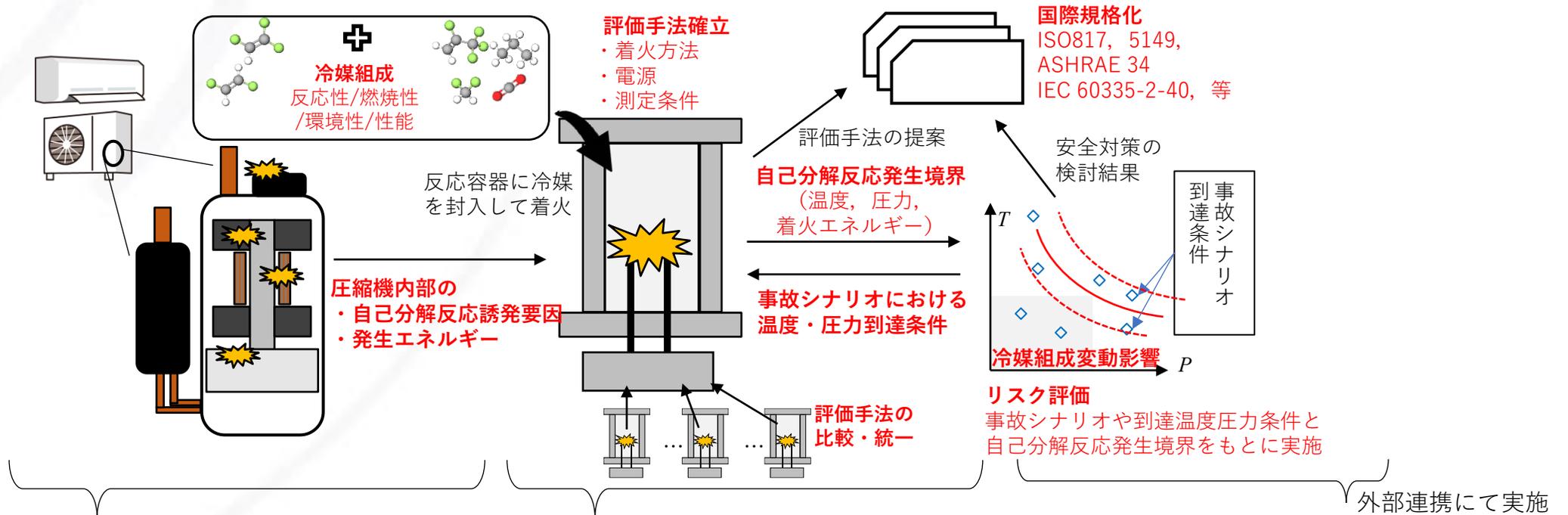
## ●規格・標準化・指針等との関係：

燃焼性と毒性で規定されている冷媒安全性規格に対し、自己分解反応に係る安定性を追加する国際規格化を行う。



# 研究開発項目

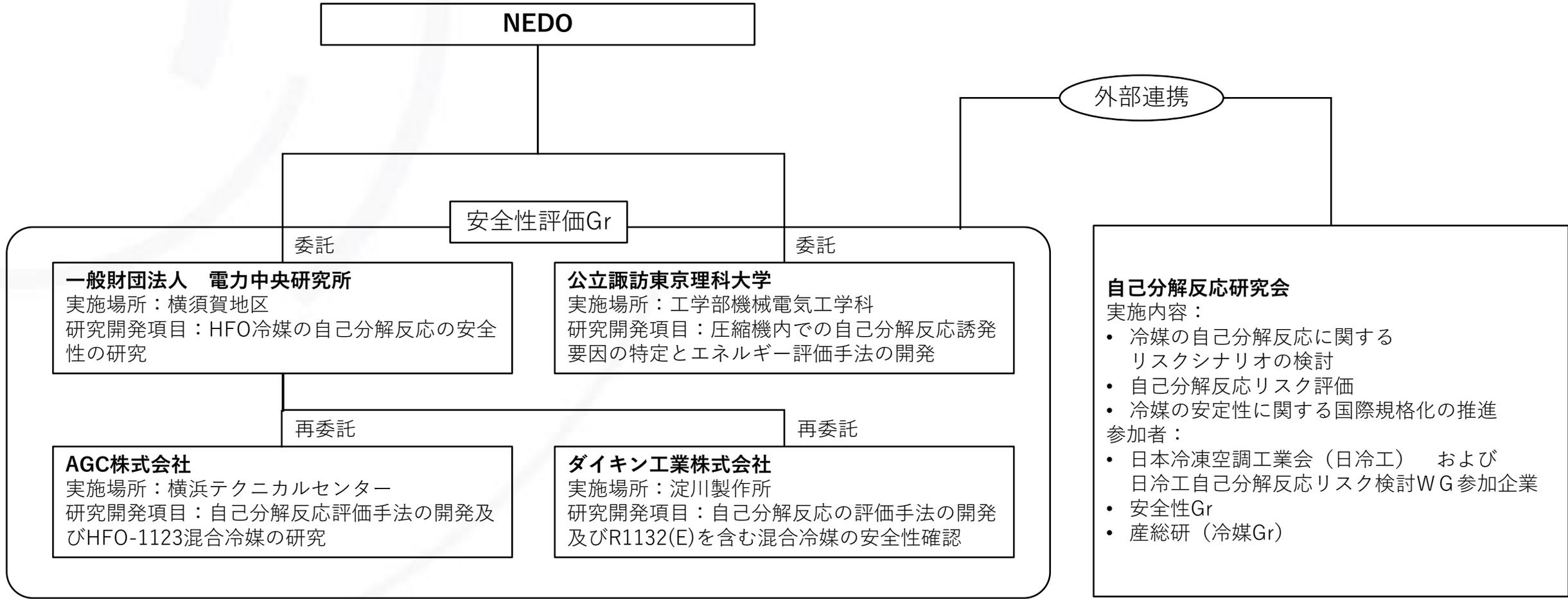
	委託	再委託	研究開発項目	事業者
安全G	安A-1		HFO冷媒の自己分解反応の安全性の研究	一般財団法人電力中央研究所
		安A-2	自己分解反応評価手法の開発及びHFO-1123混合冷媒の研究	AGC株式会社
		安A-3	自己分解反応の評価手法の開発及びR1132(E)を含む混合冷媒の安全性確認	ダイキン工業株式会社
	安B-1		圧縮機内での自己分解反応誘発要因の特定とエネルギー評価手法の開発	公立大学法人公立諏訪東京理科大学



研究開発項目 安B-1：圧縮機内での自己分解反応誘発要因の特定とエネルギー評価手法の開発

研究開発項目 安A-1：HFO冷媒の自己分解反応の安全性の研究  
 研究開発項目 安A-2：自己分解反応評価手法の開発及びHFO-1123混合冷媒の研究  
 研究開発項目 安A-3：自己分解反応の評価手法の開発及びR1132(E)を含む混合冷媒の安全性確認

# 実施体制



# 実施概要と目標（中間・最終）と根拠

実施項目	実施内容	事業者	中間目標※	最終目標	根拠
<b>安全Gr</b>	低GWP混合冷媒の特性評価	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 冷媒の着火・爆発に関するモデル化</li> <li>■ 冷媒の自己分解反応の評価方法の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 冷媒の自己分解反応機構の解明</li> <li>■ 空調機器の安全性に係るデータの取得</li> </ul>	国産冷媒普及のためには、自己分解反応の解明や抑制技術の開発、および国際規格・標準化による環境整備が必要である。
<b>安A-1</b>	HFO冷媒の自己分解反応の安全性の研究	(一財) 電中研	次世代冷媒の自己分解反応性評価について、ISO 817の改定提案を見据えた評価手法を開発・確立する。	安全性・リスク評価手法について、空調機器の安全性に係る国際標準の改定に資する知見を取得する。 実用可能なHFO混合冷媒の絞り込みを行う。	次世代HFO系冷媒は自己分解反応に係る安全性の懸念があるが、現状規格ではその規定ができていない。まず評価手法を国際標準化することにより次世代冷媒の安全性を定義し、安全対策を進めることで実用化に資する。
<b>安A-2</b>	自己分解評価手法の開発及びHFO-1123混合冷媒研究	(株) AGC	結果再現性の高い自己分解リスク評価法の確立。規制計画にそった1123製品組成物のリスク評価を完結する。	自己分解リスク評価法の国際規格化。高性能冷媒実用化に向けた安全技術開発と実検証。	自己分解リスクを判定するための評価法を規格統一することで、適用範囲を明確化できる。
<b>安A-3</b>	自己分解評価手法開発及びR1132(E)混合冷媒の安全性	(株) ダイキン工業	3MPa以上で放電可能な装置を作成し、R1132(E)を含む新たな混合冷媒の組成の自己分解境界を最大ガス圧6MPaまで明らかにする。	機器リスクアセスメントに提供できる自己分解反応データの取得と国際規格化。	国際規格化により安全性の周知を促し事業化に貢献する。
<b>安B-1</b>	自己分解応誘発要因特定とエネルギー評価手法開発	(公) 公立諏訪東京理科大学	基本計画の中間目標6) に資するため、アーク放電発生を再現可能な模型実験及び数値シミュレーション環境を整え、各種運転条件におけるアーク放電エネルギーをデータベース化する。また、アーク放電エネルギーの推算法についてプロトタイプを構築する。さらに、圧縮機内部の摺動機構やトラッキングの発生可能性を調査し、エネルギー測定環境を構築する。これらの成果を2件以上の学術論文あるいは口頭発表等により発信する。	公募時の基本計画にある最終目標の2)および3)に資するため、中間目標の達成内容に加えて、測定回数の増加あるいは対象運転条件の追加などにより、放電エネルギーデータベースを完成させる。加えて、電流、電圧、放電時間等からアーク放電エネルギーを推算できる手法を完成させる。これらの成果は国際標準の改正提案に耐えられるものとして整備する。	本研究は圧縮機内で現実には生じるエネルギーの定量化であり、安全Gr内他事業者が行う自己分解反応誘発条件が実際に生じるかを評価するものである。圧縮機内でのエネルギー発生は、特にアーク放電によるところが大きいことから中間目標としてアーク放電エネルギーの定量化を、最終目標としてその他要因も含む圧縮機内でのエネルギー定量化を掲げた。

# 研究開発スケジュール

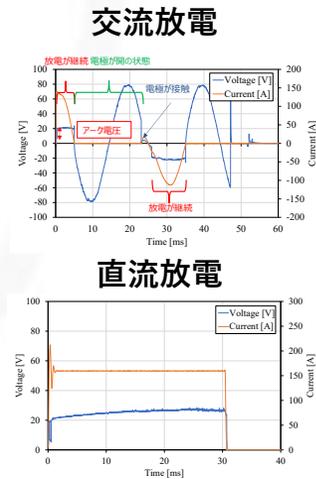
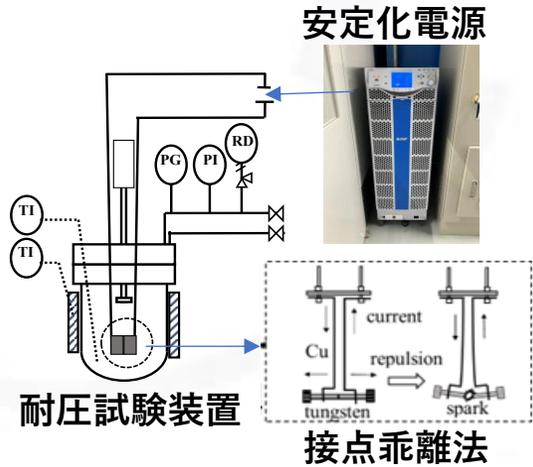
実施項目	2023	2024	2025	2026	2027
安A-1：HFO冷媒の自己分解反応の安全性の研究	ISO 817改定提案に向けた自己分解反応評価方法の確立	自己分解反応を抑制する冷媒組成の検討	シミュレーション・実機による冷媒安全性評価	HFO冷媒の総合的な性能評価	自己分解反応の実証試験
安A-2：自己分解評価手法の開発及びHFO-1123混合冷媒研究	放電着火方法の検討	自己分解反応領域確認試験	実機安全確認試験	機器安全対策研究 安全対策実機確認試験	冷媒製品自己分解反応領域確認試験
安A-3：自己分解評価手法開発及びR1132(E)混合冷媒の安全性	高圧対応放電試験装置の開発/放電試験装置の改良	R1132(E)混合冷媒の反応境界明確化	普及に向けた安全対策実用化に関する課題とその対応	R1132(E)を含む新たな混合冷媒の研究 自己分解反応のメカニズム解明	対策含めた実機での安全性確認
安B-1：自己分解反応誘発要因特定とエネルギー評価手法開発	圧縮機内でのアーク放電発生メカニズムの解明と放電エネルギー推算法の開発	圧縮機内でのその他の自己分解反応誘発要因の調査とエネルギー定量化	実機を用いた実証試験	試験法の構築とエネルギー推算モデルの確立	実機を用いた実証試験
評価時期			中間評価	終了時評価	



# 成果と意義： [安A-2] ～自己分解反応評価手法の開発及びHFO-1123混合冷媒の研究～ (AGC)

2023～2024年成果：安定化電源導入で再現性の高い評価システムを構築

2025年成果見込：国際標準化のための最適電極構造選定



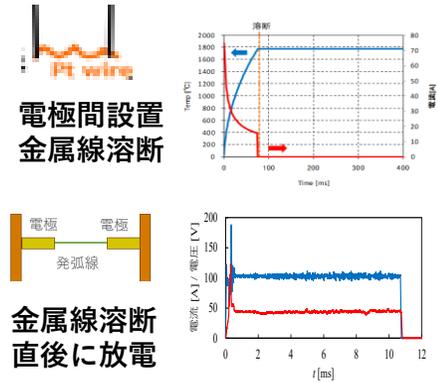
## 放電現象の基礎検討

- 電極材質の影響
- 放電条件と発生エネルギー関連
- 自己分解の基礎検討
- 冷媒組成と放電エネルギー関連

## 簡便で高い再現性

金属線溶断法  
・ 高圧ガスA法

発弧線溶断法  
・ TDG法  
・ DK、電中研  
新規開発法



自己分解伝播境界への電極構造影響を評価

## (成果)

- 安定化電源導入による各種制御により再現性良く意図する放電現象を試験装置内に発生させることが可能となった。
- 実機内放電を再現可能な交流放電と発弧線溶断も含めた直流放電や金属線溶断法の自己分解影響を比較することが可能となった。
- 一定条件における (130～150℃、4～6MPa) 自社冷媒組成の自己分解伝播発生境界条件を明確した。

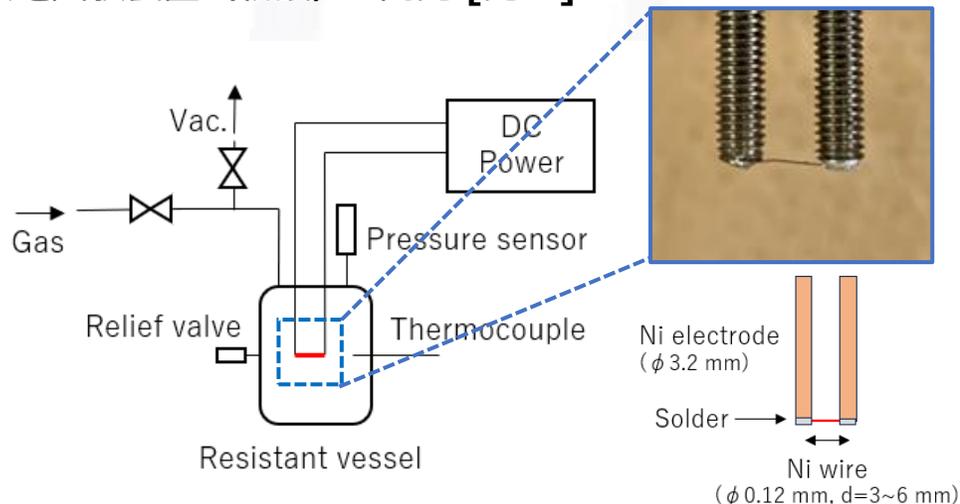
## (意義)

- 実機内放電と国際標準に適した簡易法の影響比較が可能となった。
- 自己分解伝播発生境界条件の明確化はリスク評価に大きく寄与する。

# 成果と意義：[安A-3]～自己分解反応の評価手法の開発及びR1132(E)を含む混合冷媒の安全性確認～（ダイキン工業）

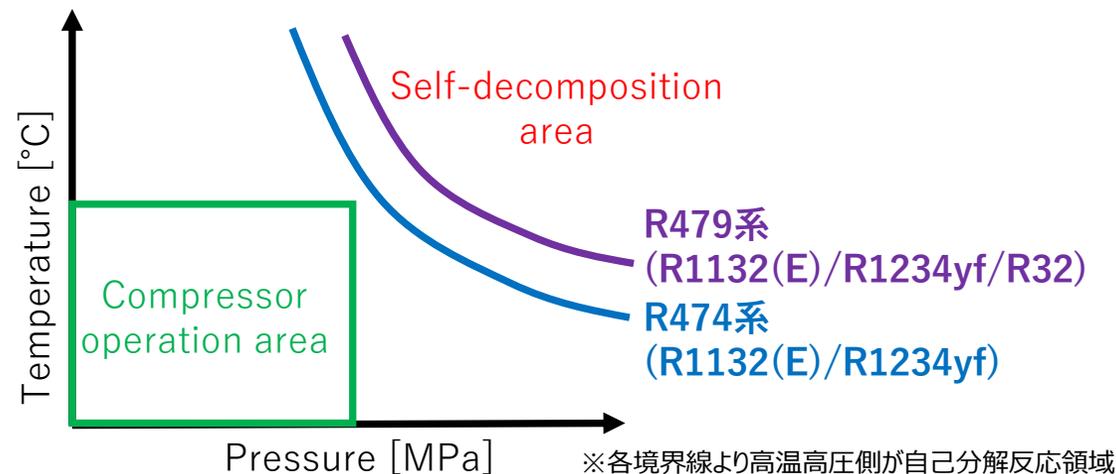
## ＜自己分解反応評価＞

### ■放電試験装置（新設）の開発 [完了]



5MPaの高圧ガス条件下で放電発生を確認

### ■R1132(E)混合冷媒の組成検討 [今後検討]



R1132(E)混合冷媒の自己分解境界線を明確化

## ＜安全対策の実用化＞

本事業で開発された次世代低GWP冷媒をグローバルに普及させるための実用化における安全対策の課題をリストアップし、課題解決のための対応策についてもリストアップ。さらに、有識者から助言を得ながら、本事業成果を活用するためのより具体的な解決策を検討し、準備項目を抽出。

### 成果

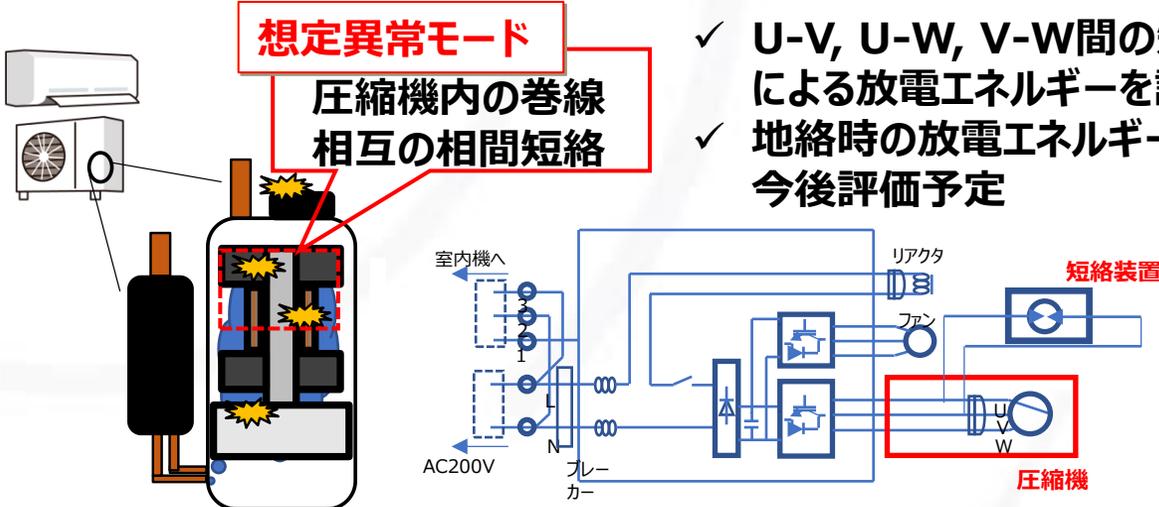
- 3MPa以上で放電可能な装置の作成完了
- R1132(E)混合冷媒の自己分解境界データ取得(予定)
- 安全対策の実用化について具体的な解決策を立案

### 意義（副次的成果や波及効果）

- 自己分解境界データを用いた機器リスクアセスメント、ISO規格化による冷媒安全性のグローバル訴求
- 低GWP冷媒事業化への貢献

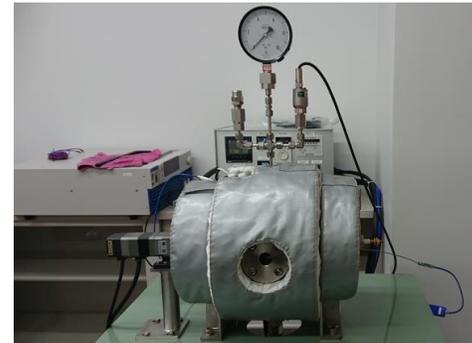
# 成果と意義：[安B-1]～圧縮機内での自己分解反応誘発要因の特定とエネルギー評価手法の開発～（公立諏訪東京理科大学）

- ・圧縮機内では主としてアーク放電が主要な異常エネルギー発生要因 → アーク放電エネルギー定量化を中間目標での到達目標に設定
- ・冷媒使用実機での運転条件を勘案した短絡モードにおけるエネルギーの定量化が重要 → 2024年度実機試験を開始

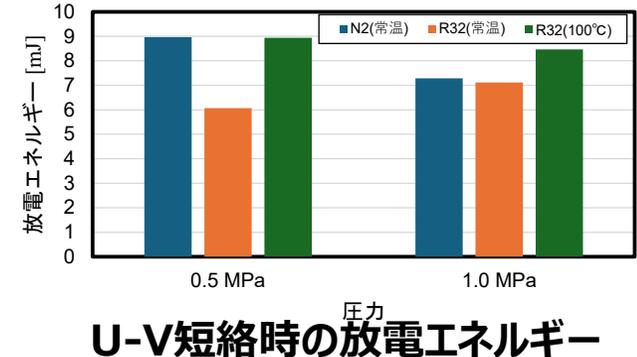


- ✓ U-V, U-W, V-W間の短絡による放電エネルギーを計測
- ✓ 地絡時の放電エネルギーも今後評価予定

①短絡試験装置の開発：  
6MPa, 150°C環境下での短絡試験を実施可能



②放電エネルギーの定量：  
いずれの短絡モードでもmJオーダー程度の放電エネルギー



**成果**

- 圧縮機内の冷媒雰囲気下におけるアーク放電エネルギーを測定可能な環境を整えた
- エアコン実機の圧縮機内における短絡を模擬した実験を行った
- 現時点では自己分解反応を誘発するエネルギーはいずれの短絡モードでも観察されていない

**意義（副次的成果や波及効果）**

- 安全Gr他事業者の研究成果（自己分解反応発生のトリガーエネルギー値）と本研究で得られる圧縮機内でのエネルギーを比較することにより、自己分解反応が圧縮機内で起こりうるか否かを定量評価可能である。これにより、リスク評価における事故発生確率の精緻化に資する。

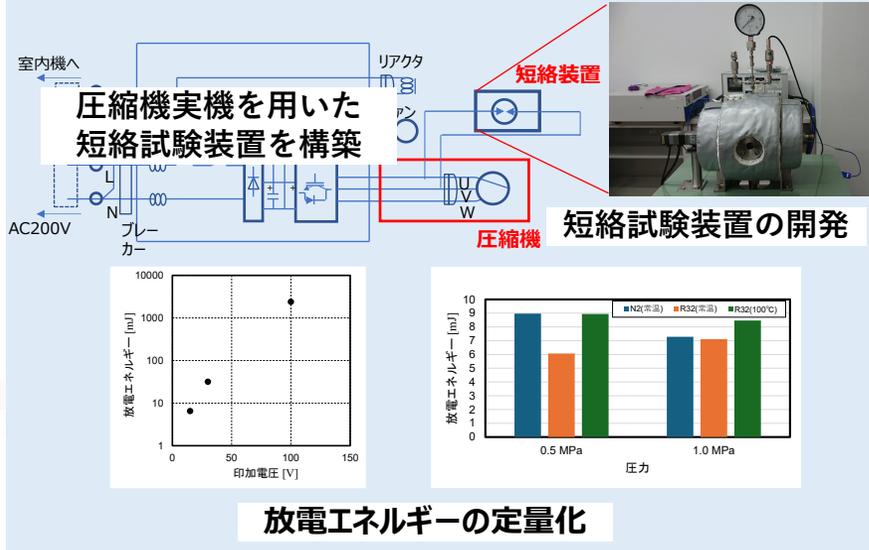
# 目標達成状況（中間年度見通し）

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

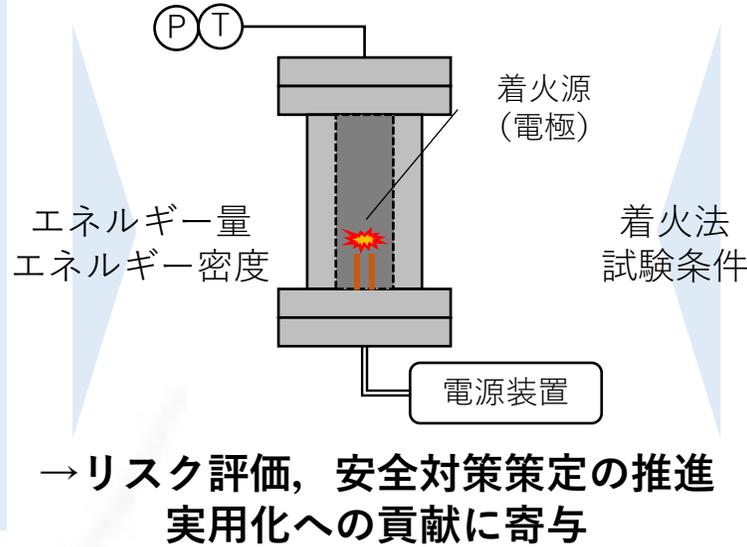
実施項目	実施内容	事業者	目標（2026年3月）	成果（2026年3月）	達成度（見込み）	達成の根拠／解決方針	
安全Gr	低GWP混合冷媒の安全性・性能評価	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 冷媒の着火・爆発に関するモデル化</li> <li>■ 冷媒の自己分解反応の評価方法の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 実機によるアーク放電エネルギーの定量化を達成。</li> <li>■ 自己分解反応を誘発する着火源の調査・比較・実験を通じ、国際標準に提案する着火手法を開発。</li> <li>■ 次世代冷媒の自己分解反応境界条件を明確化。</li> </ul>	○ 2026年3月に達成見込み	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 当初目標を達成。</li> <li>■ 国際標準化についてはISO TFにて評価手法を提案。</li> </ul>	
	安A-1	HFO冷媒の自己分解反応の安全性の研究	(一財) 電中研	ISO 817の改定提案を見据えた、冷媒の自己分解反応評価手法を開発・確立する。	再現性が高く、簡便な評価手法を開発。圧縮機内発生エネルギーを踏まえ冷媒のリスク評価を実施。	○ 2026年3月に達成見込み	比較・調査により国際標準化に有望な手法を絞り込み開発中。参加中のISO TC86 SC8 TF3にて、冷媒安定性の評価手法を提案。
	安A-2	自己分解評価手法の開発及びHFO-1123混合冷媒研究	(株) AGC	結果再現性の高い自己分解リスク評価法の確立。規制計画にそった1123製品組成物のリスク評価を完結する。	結果再現性の高い着火法を確立し国際規格化に向けた基礎研究を終了。自社冷媒のリスク評価を完了。	○ 自己分解評価手法は2025年5月に達成見込み。2025年6月以降は自社冷媒リスク評価に注力。	1123冷媒のR番号取得が遅延のため、2025年5月まではリスク評価法開発に注力。2025年6月以降で組成開発に注力する
	安A-3	自己分解評価手法開発及びR1132(E)混合冷媒の安全性	(株) ダイキン工業	3MPa以上で放電可能な装置を作成し、R1132(E)を含む冷媒の自己分解境界を明らかにする。	R1132(E)/R1234yf/R32の3元系の自己分解境界データを明らかにした。	◎ 2026年3月に達成見込み	スケジュール通り、装置作成及び自己分解反応境界データを取得したため達成と評価
	安B-1	自己分解反応誘発要因特定とエネルギー評価手法開発	(公) 公立諏訪東京理科大学	各種運転条件におけるアーク放電エネルギーをデータベース化する。	圧縮機実機を用いて、6MPa, 150°Cにおけるアーク放電エネルギーを実測した	◎ 2026年3月に達成見込み	圧縮機実機内のエネルギーを定量化したことで達成と評価

# 成果と意義（中間年度見通し）

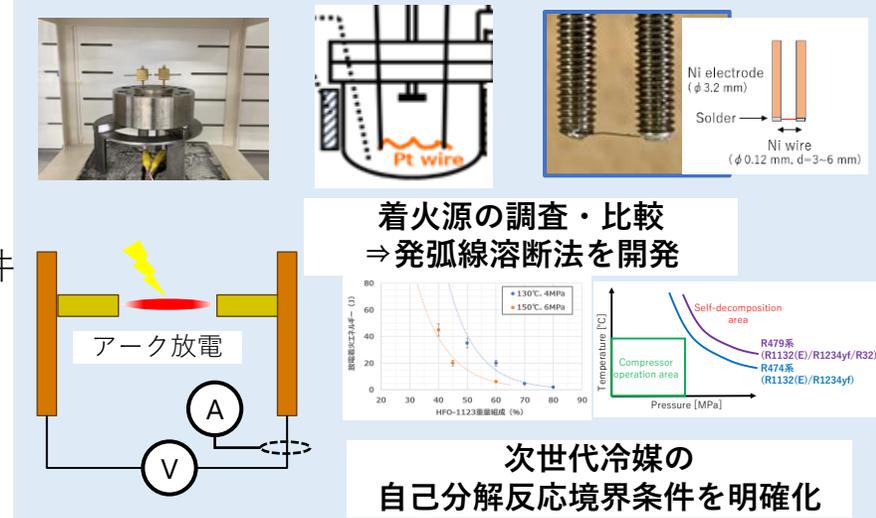
## 圧縮機内アーク放電エネルギー定量化



## 自己分解反応評価法国際標準化



## 評価法の開発



### 成果

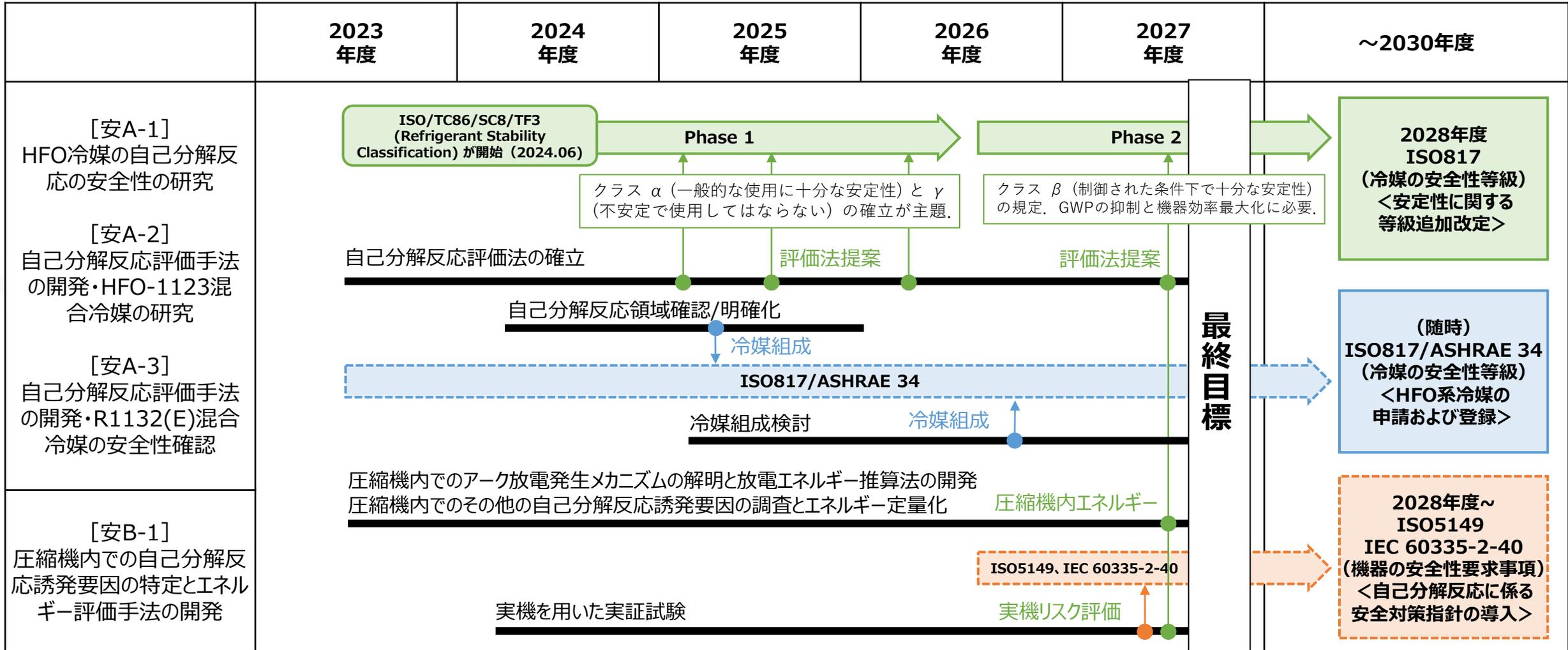
- エアコン圧縮機実機を用いた短絡試験装置を構築。冷媒雰囲気下でのアーク放電エネルギー量を取得。
- 高圧冷媒雰囲気下で再現性良く放電を発生させる着火手法を開発。
- 自己分解反応評価手法を確立。

### 意義（副次的成果や波及効果）

- 自己分解反応が圧縮機内で起こりうるか否かを定量評価可能とする。
- リスク評価における事故発生確率の精緻化に資する。
- 次世代冷媒の安全性・リスク評価により、安全対策の策定に資する。

# アウトカム達成に向けた戦略・具体的取組

## <ロードマップイメージ>



以下、補足資料

# 補足) 成果と意義 : [安A-1] ~HFO冷媒の自己分解反応の安全性の研究~ (電中研)

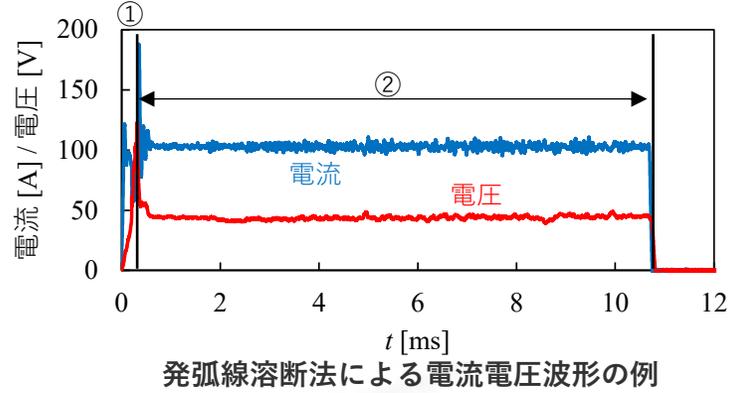
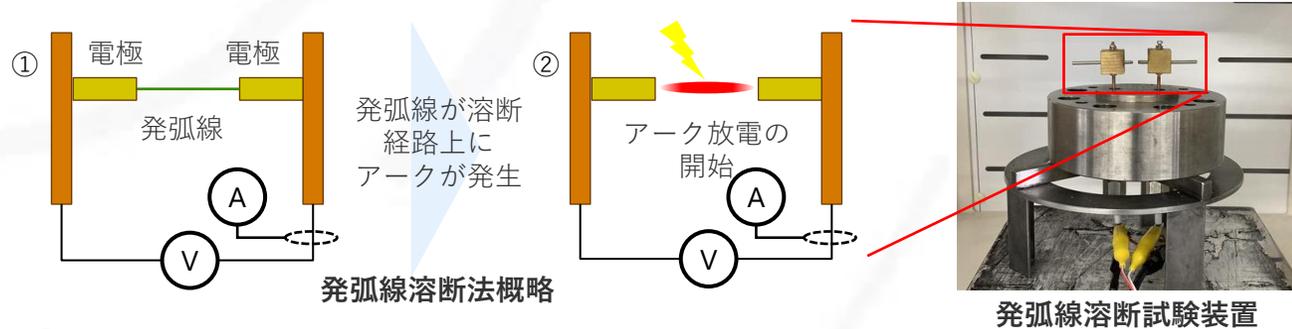
<着火源の比較・調査と絞り込み>

物質安定性評価の規格等で用いられる着火源や、冷媒評価の先行事例の調査・比較を行った。放電が生じにくい高圧フルオロカーボン雰囲気において放電を介してエネルギーを簡便に投入する手法としては、発弧線溶断法(下図)が有望であると絞り込んだ。

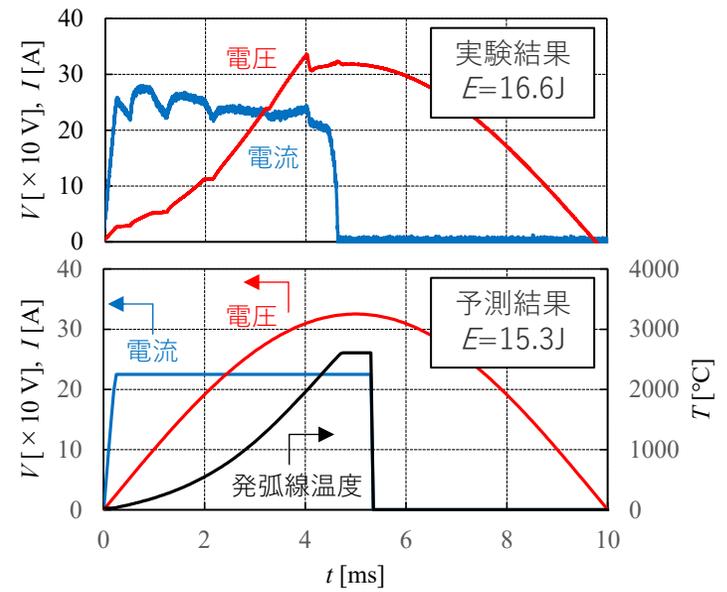
自己分解反応評価においては、冷媒に与えられるエネルギー量が重要なパラメーターの1つとなる。発弧線溶断においては、線溶断を境に異なる現象が発生する。電極間距離や金属種の影響を評価する装置を作成し、投入エネルギー量やアーク発生条件を調べた。

<投入エネルギー量評価① 溶断によるエネルギー>

発弧線が溶断するまでの電流・電圧やエネルギー量を評価した。溶断までの電圧・電圧変化や溶断までの時間、エネルギー総量は、発弧線の物性値を用いて予測可能であることを示した。



- ①: 溶断まで電流を流すとジュール熱により発弧線が昇温し、やがて融解、溶断する。左の結果では1.1J
- ②: アーク放電  
電極間にアーク放電が発生し、自己分解反応の起因となるエネルギーが冷媒に与えられる。電圧は基本的に一定となる。左の結果では47.4J



発弧線の物性値を用いて、発弧線が溶断するまでの電流、電圧、温度変化を予測した。溶断までの時間やエネルギー総量の予測値は実験結果と良く一致した。

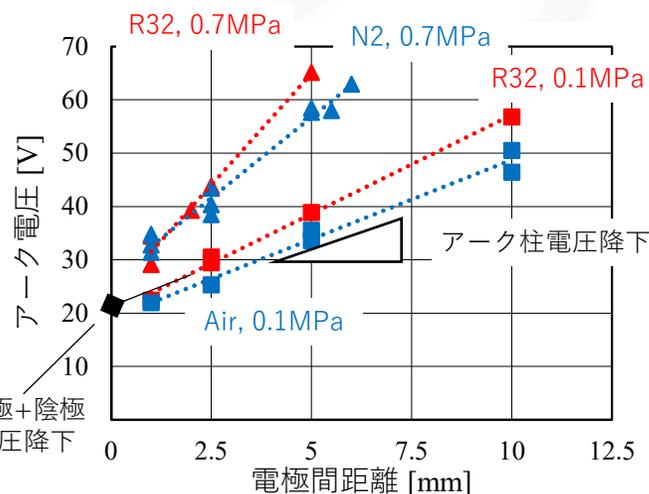
# 補足) 成果と意義 : [安A-1] ~HFO冷媒の自己分解反応の安全性の研究~ (電中研)

<投入エネルギー量評価② アーク放電によるエネルギー>  
アークを介し投入されるエネルギーは主にアーク電圧・電流・時間で決まる。

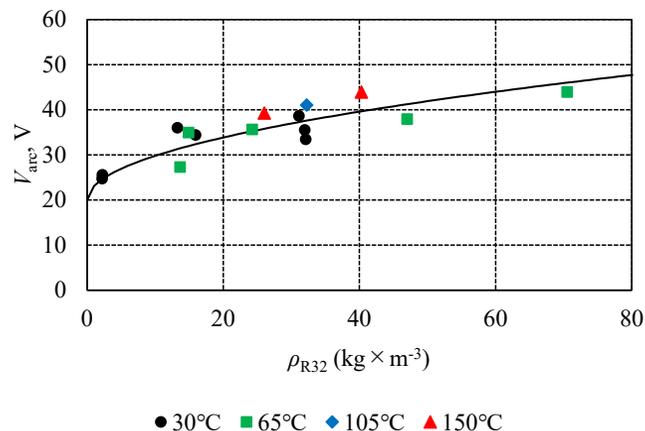
$$\text{投入エネルギー } E[\text{J}] = \text{アーク電圧 } V_{\text{arc}}[\text{V}] \times \text{電流 } I[\text{A}] \times \text{放電時間 } t[\text{s}]$$

電極, 試料ガス (冷媒) 条件により変化 電源装置の設定値 (実験条件)

冷媒雰囲気下の投入エネルギー制御を容易にするため, アーク電圧  $V_{\text{arc}}$  を詳細に調べた。アーク電圧が距離に比例してガス種と圧力で依存した傾きで増加することを検証した。本結果を用いることで, 発弧線溶断による投入エネルギー量を予測・制御可能となる。



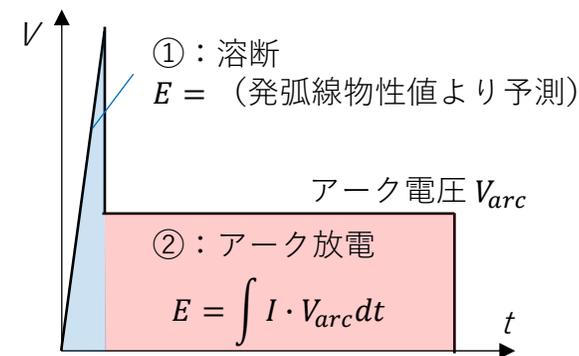
**種々の電極間距離とアーク電圧の関係**  
電極間距離に対してアーク電圧は線型に増加する。



**ガス密度とアーク電圧の関係 (R32)**  
ガス密度の増加に伴いアーク電圧は増加, 温度依存性は本試験条件では小さい。

$$V_{\text{arc}} = V_{A+C} + \Delta V \cdot L \cdot (\rho_{\text{gas}})^{\beta}$$

ただし,  
 $V_{\text{arc}}$ : アーク電圧[V]  
 $V_{A+C}$ : 陽極陰極電圧[V]  
 $L$ : 電極間距離[mm]  
 $\Delta V$ : アーク柱電圧係数 [V/mm/(kg/m<sup>3</sup>) <sup>$\beta$</sup> ]



発弧線溶断による電圧変化概略図

- ① 溶断によるエネルギーは発弧線の物性値より予測。
- ② アーク放電によるエネルギーはアーク電圧, 印加時間 (設定値), 電流 (設定値) により制御。

これらにより, 発弧線溶断・放電による投入エネルギー量を予測・制御

# 補足) 成果と意義 :

## [安A-1] ~HFO冷媒の自己分解反応の安全性の研究~ (電中研)

<次世代冷媒の自己分解反応性評価>

自己分解反応評価装置を製作。円筒形の反応容器内部に着火源となる電極が設置されており、冷媒を封入、所定の温度圧力とし、着火源でエネルギーを印加、圧力変化により反応伝搬の有無を判定する。

開発した発弧線溶断電極を設置し、次世代冷媒の自己分解反応評価を実施。



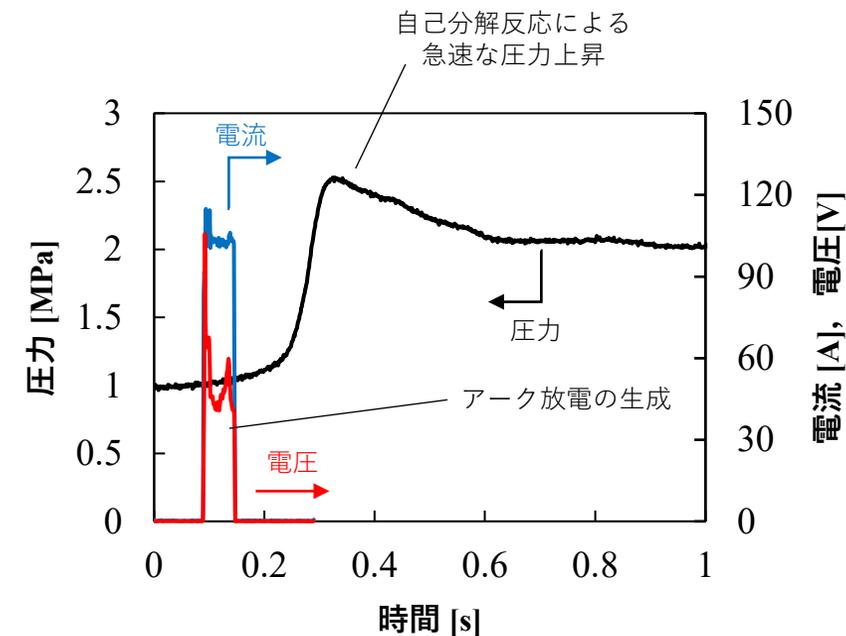
### 自己分解反応評価装置

中央に反応容器があり、下部から電極棒を挿入、温度制御のため周囲にヒーターを設置、第二種高圧ガス製造設備として制作。



### 着火源 (電極)

反応容器の下部より電極棒を挿入、電極棒の上部に発弧線溶断用の電極と発弧線を設置。



### HFO冷媒の自己分解反応試験結果例

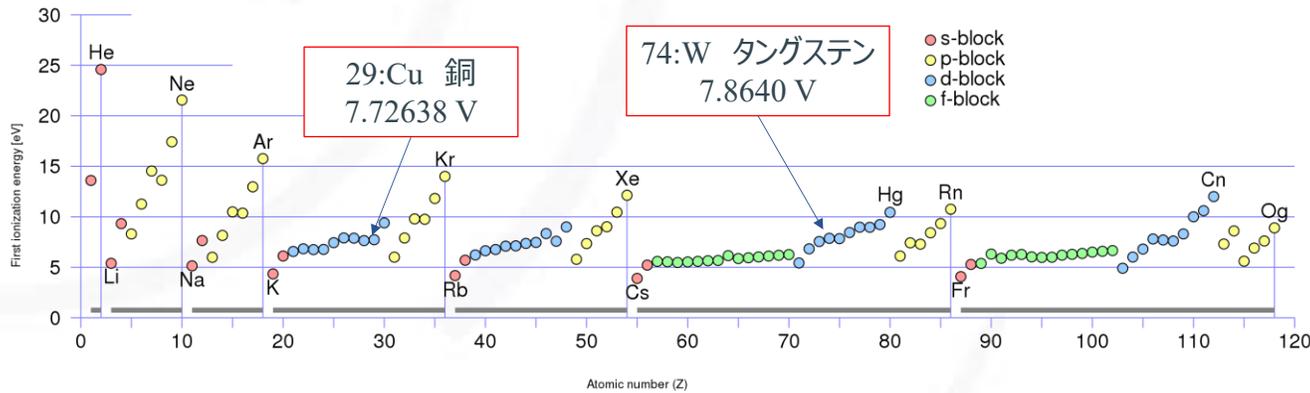
冷媒雰囲気下で発弧線に電圧を印加、放電が発生しづらい冷媒雰囲気下でも、発弧線が溶断した後にアーク放電を生成。電流は電源装置で規定、エネルギー投入により自己分解反応が伝搬し、圧力が大きく上昇した。

# 補足) 成果と意義： [安A-2] ~自己分解反応評価手法の開発及びHFO-1123混合冷媒の研究~ (AGC)

## <中間年度の検討内容と成果・課題・今後の計画>

### 検討内容と成果：

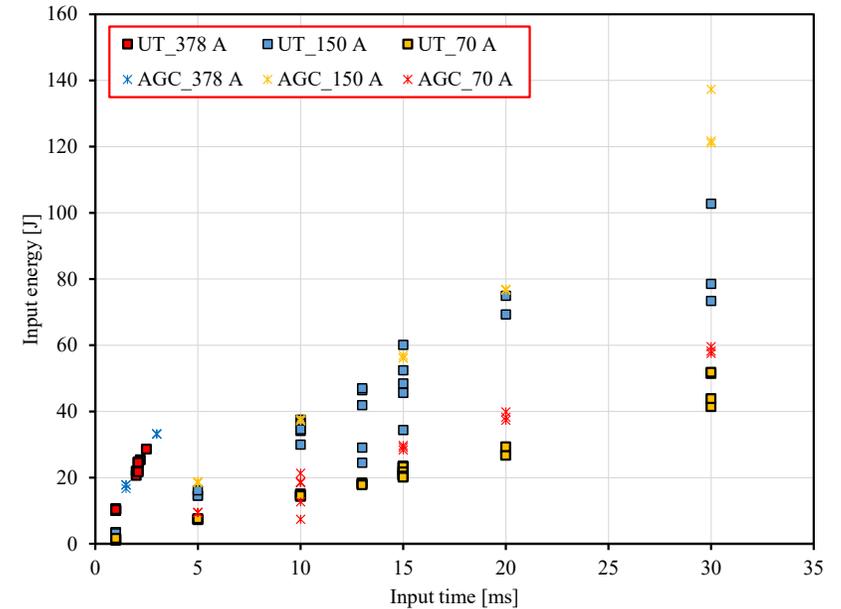
①交流放電と安定化電源を用いた直流放電による放電現象の基礎研究と標準化に向けたエネルギー制御法について検討を実施



各種元素の一次電離電圧

**結果：印加電圧によらず放電電圧は一定でアーク放電の陰極降下（電圧）は、極材料の電離電圧に近い**

**→ 巻線材のCu（銅）と電極材として使用したW（タングステン）は近い数値となっており、実機の放電電圧を再現可能**



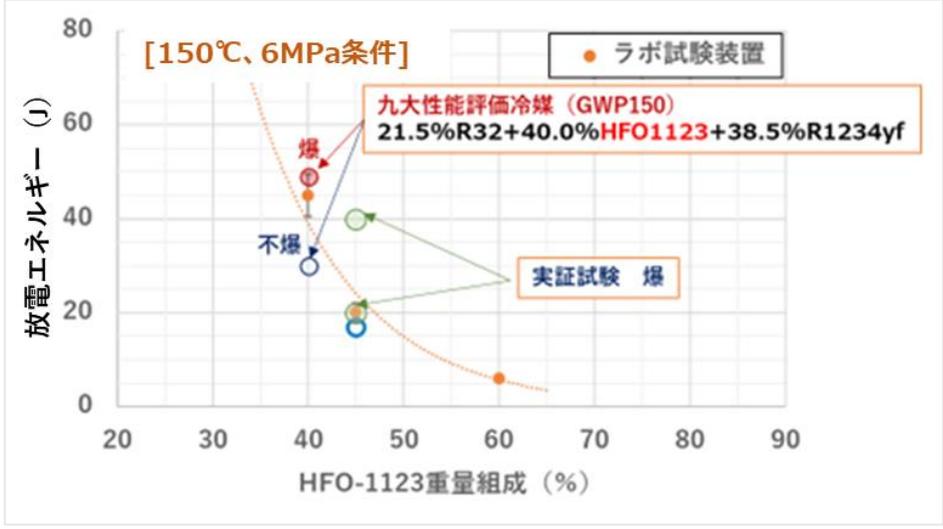
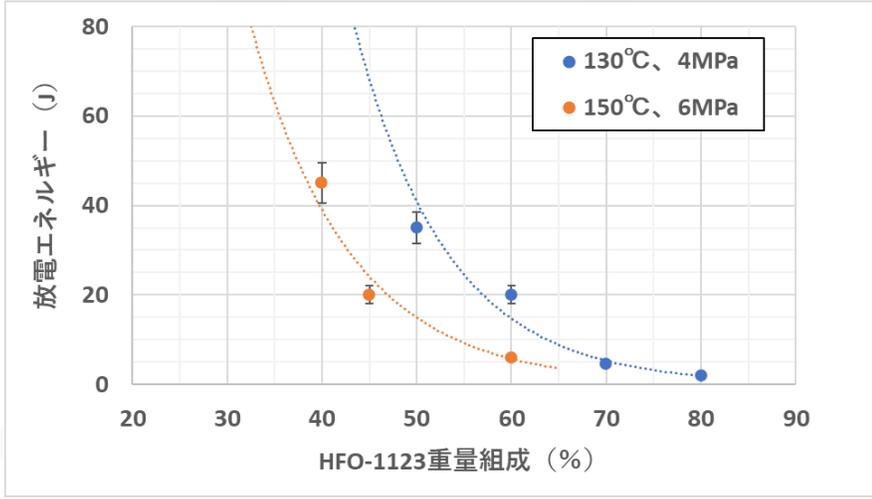
放電エネルギーと電圧印加時間相関

UT：東京大学実施、AGC：AGC実施

**結果：リミット電流と放電時間設定で再現よく放電エネルギー及びエネルギー密度を制御可能**

# 補足) 成果と意義： [安A-2] ~自己分解反応評価手法の開発及びHFO-1123混合冷媒の研究~ (AGC)

②自己分解伝播が発生するHFO-1123重量組成と放電着火エネルギー相関 (改良直流放電法を用いて確認)



自己分解伝播発生時の放電エネルギーとHFO-1123重量組成相関図

ラボ試験装置と実圧縮機の自己分解伝播発生境界比較図

**結果：冷媒組成と自己分解発生の最小着火エネルギー境界を明確化した。実圧縮機（交流放電）でも境界を再現した。**

③各種電極構造による自己分解伝播境界比較 (国際標準化に最適な電極構造選定)



**中間年度成果：各種電極構造による発生エネルギーと自己分解伝播発生境界の比較検討を行い、国際標準化法に最適な電極構造を選定する**

**今後の計画：機器安全対策構築に必要な自己分解伝播抑制条件の明確化**

# 補足) 成果と意義 : [安A-3] ~自己分解反応の評価手法の開発及び R1132(E)を含む混合冷媒の安全性確認~ (ダイキン工業)

既存装置と新設装置の放電発生メカニズム、使用範囲、特徴を比較。

項目	既存装置	新設装置
電極構造	<p>Ni electrodes (φ 2.5 mm) Gap (0.1~0.5mm)</p>	<p>Ni electrode (φ 3.2 mm) Solder Ni wire (φ 0.12 mm, d=3~6 mm)</p>
放電発生メカニズム	<ul style="list-style-type: none"> <li>高電圧をかけて電極間の電子を加速</li> <li>絶縁破壊を起こし冷媒分子を電離</li> <li>電子リッチな電極間に電流が流れ放電発生</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電極間に電圧をかけて金属細線を溶断</li> <li>溶断時に熔融金属から熱電子放出</li> <li>電子リッチな電極間に電流が流れ放電発生</li> </ul>
入力電圧	DC: ~2000 V (コンデンサー)	DC: ~230 V
放電エネルギー	~250 J	~100 J
試験可能圧力	~3 MPa	~5MPa
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓放電エネルギーの再現性の高い</li> <li>✓固定電極であり、不均化評価の再現性が高い</li> <li>✓高電圧を発生させる電源装置が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓放電エネルギーの再現性の高い</li> <li>✓固定電極を使用 (不均化評価の再現性は今後確認)</li> <li>✓電源装置の作成コストが低く、電極の調整が容易</li> </ul>

3MPa以上の高圧雰囲気下で放電可能な試験装置の開発が完了

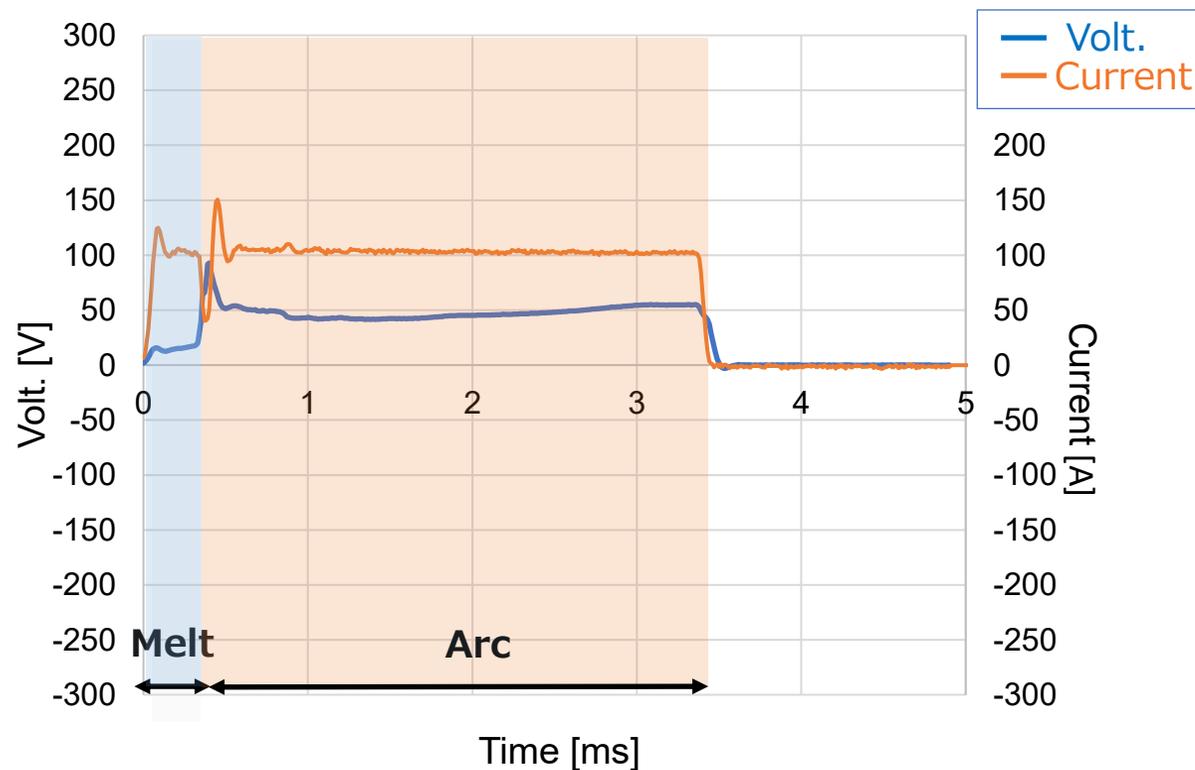
# 補足) 成果と意義 : [安A-3] ~自己分解反応の評価手法の開発及び R1132(E)を含む混合冷媒の安全性確認~ (ダイキン工業)

圧縮機内の冷媒雰囲気想定した5MPaでの放電発生有無を検証。

## ■ 試験条件

項目		パラメータ
ガス	ガス種	R-32
	圧力	5 MPaA
	温度	150 °C
電極	材料	Ni
	径	Φ 3.2 mm
	電極間距離	1 mm
	金属線種	Ni
	線径	Φ 0.12 mm
	接続方法	ハンダ付け
電源	電圧	DC 230 V
	周波数	50 Hz
	電流制御値	100 A

## ■ 電流電圧波形



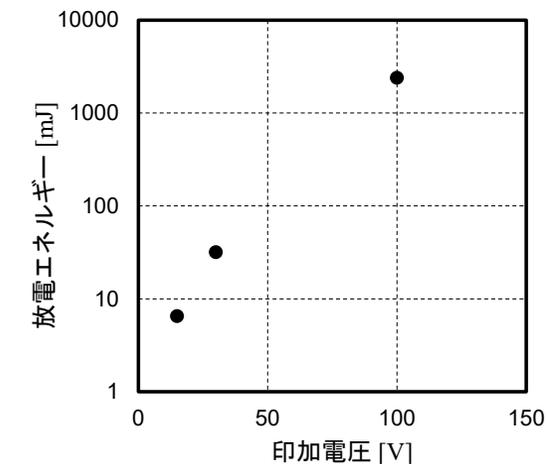
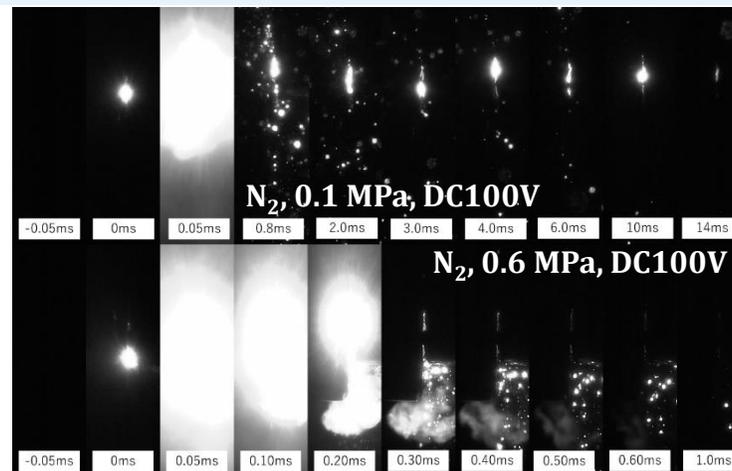
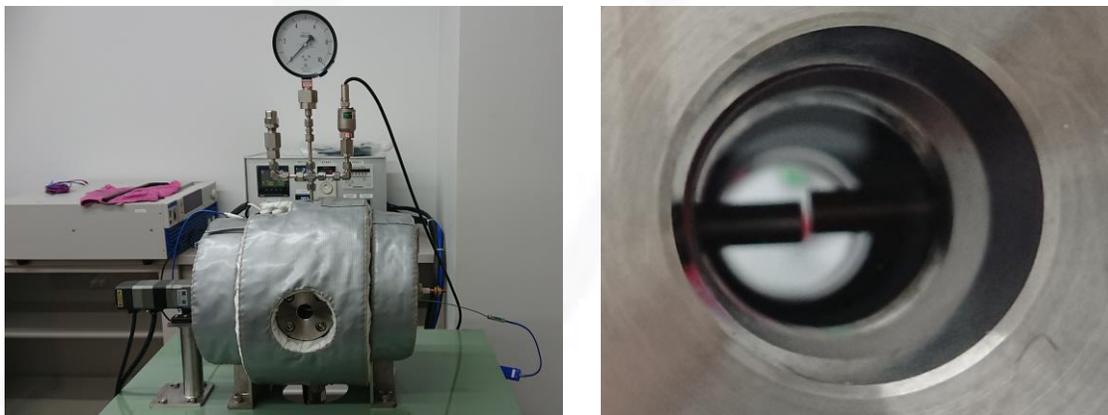
- ✓溶断後、アーク放電が発生することを確認
- ✓放電時間、電流を制御することでエネルギーの調整可能

今後、R1132(E)混合冷媒を用いて自己分解評価を進める

# 補足) 成果と意義: [安B-1] ~圧縮機内での自己分解反応誘発要因の特定とエネルギー評価手法の開発~ (公立諏訪東京理科大学)

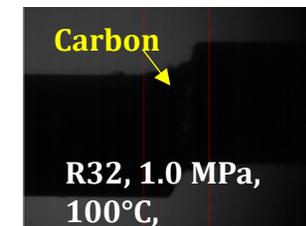
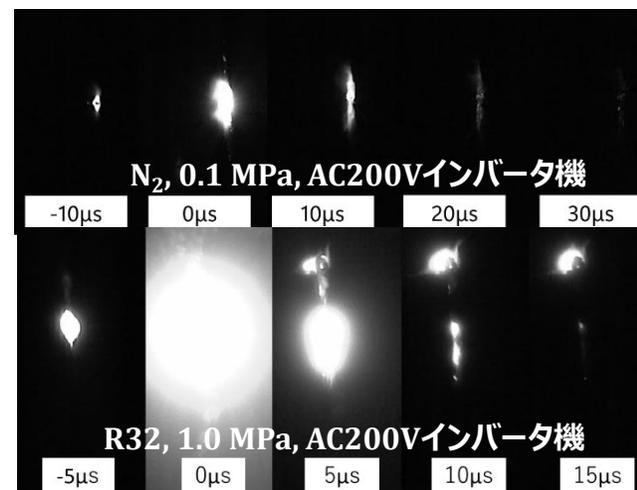
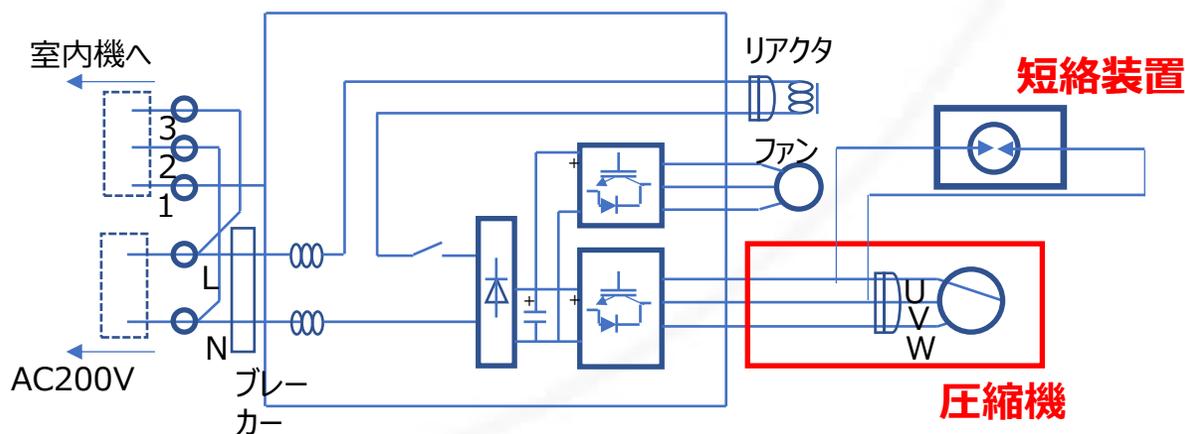
## <24年度の成果>

### ①実運転条件下の冷媒環境内でアーク放電を測定する装置の開発



- ✓ 直流安定化電源を用いた放電実験では、2.5J程度の放電エネルギーが生じた
- ✓ 圧力が高くなると放電発光は大きくなるが、エネルギーにはあまり影響しない

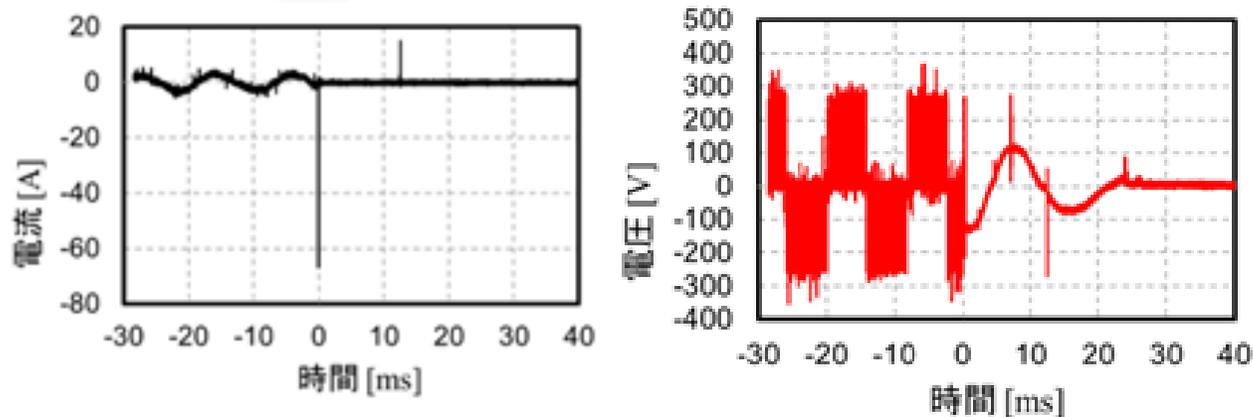
### ②実機を用いた短絡実験の実施



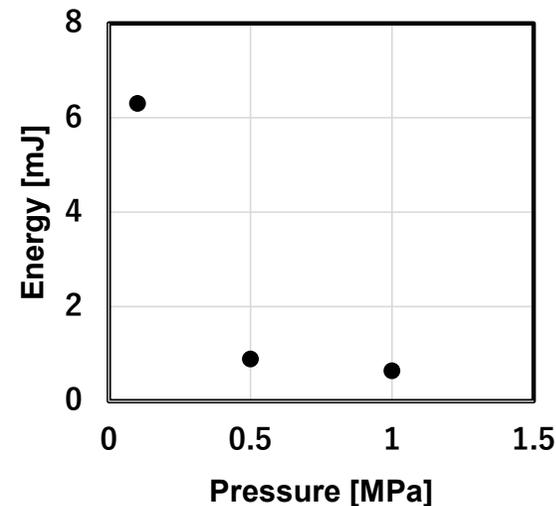
- ✓ 放電時間は安定化電源の場合に比べて3桁程度短い
- ✓ 圧力がエネルギーに及ぼす傾向は同様
- ✓ R32を用いた場合、自己分解によるCの生成を確認

# 補足) 成果と意義 : [安B-1] ~ 圧縮機内での自己分解反応誘発要因の特定とエネルギー評価手法の開発~ (公立諏訪東京理科大学)

## ③ 実機を用いた短絡実験におけるエネルギー一定量化

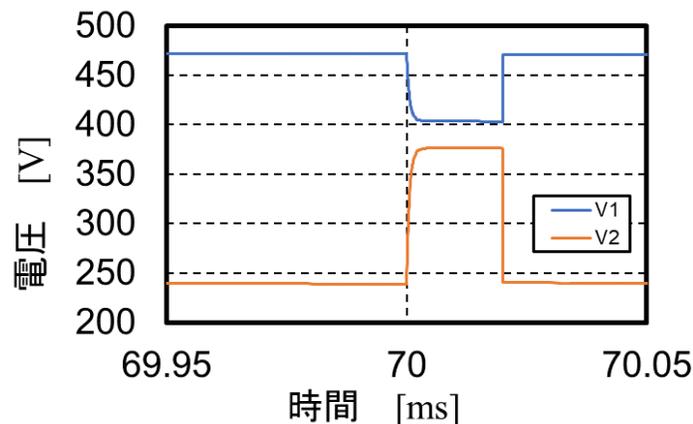
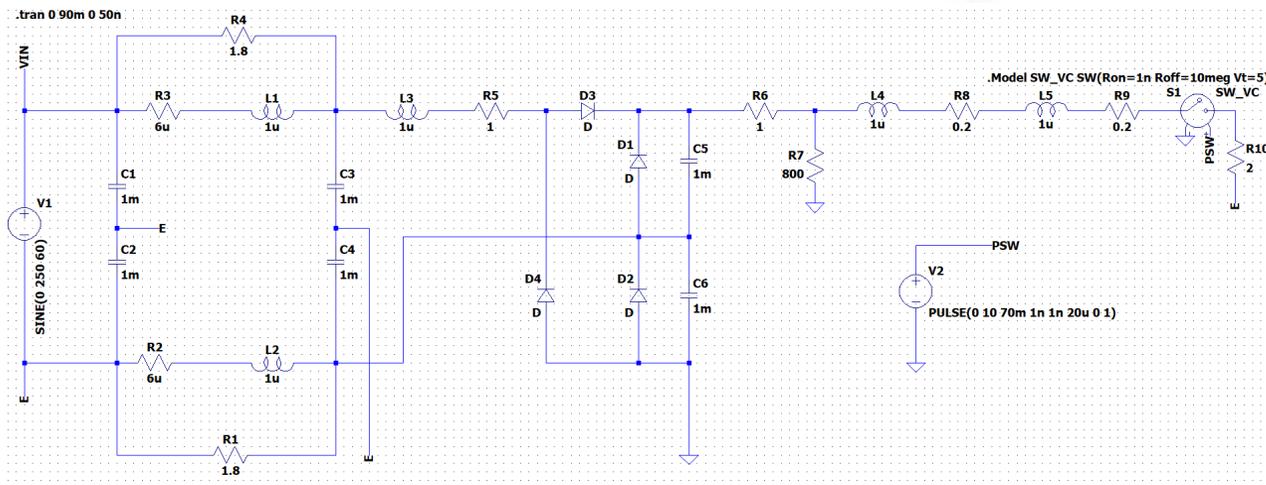


電流の最小値 : -65.5A エネルギー :  $5.4 \times 10^{-3} \text{J}$



➤ U-VショートではmJオーダーのエネルギーしか生じない

## LTSpiceによる模擬インバータ回路



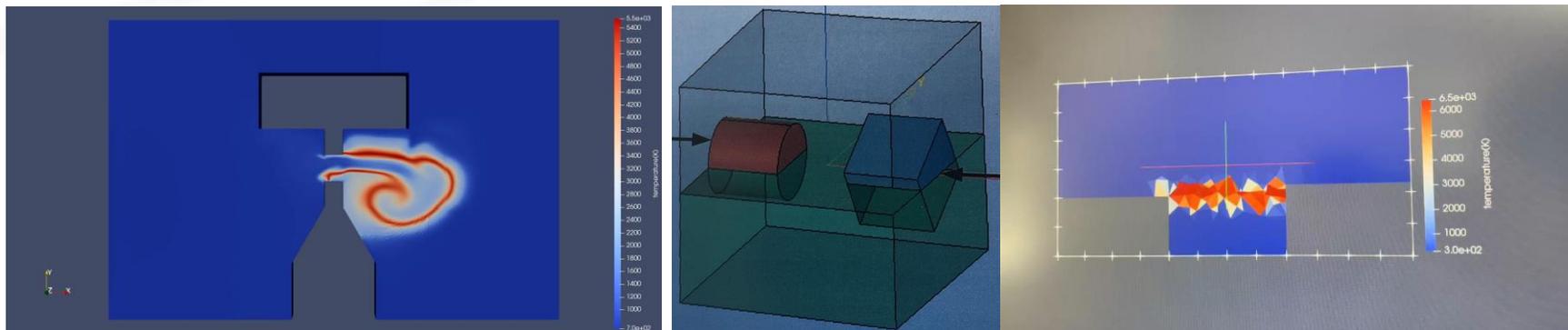
# 補足) 成果と意義 : [安B-1] ~圧縮機内での自己分解反応誘発要因の特定とエネルギー評価手法の開発~ (公立諏訪東京理科大学)

## <課題, 今後の計画>

### ③実機を用いた短絡実験におけるエネルギー定量化 : 試験条件の広範化

- ✓ 6 MPa, 150°Cにおける冷媒環境下 (R32) でのU-W, V-Wショートのエネギー定量化
- ✓ 複数実機を用いた実験による実機個体差の影響評価
- ✓ 冷凍機の圧縮機内におけるアーク放電エネルギーの定量化 (実機使用)
- ✓ エネギーのデータベース化と論文による公知化

### ④アーク放電エネルギーの予測 : 数値シミュレーションとの併用, 放電柱の分光計測による温度・化学種追跡



- 電流・電圧や雰囲気ガス条件を変化させ, 放電有無・電流・電圧・アーク柱温度などを算出予定

### ⑤放電以外の自己分解反応誘発要因の調査

- ✓ モータ巻き線の過熱や摺動に伴う温度上昇 (高温熱面)
- ✓ ターミナルのトラッキング