

# 「6.1-6 冷却システムの高性能化」 (公開)

平成26年9月3日

株式会社前川製作所 町田 明登

## 6.1-6 冷却システムの高性能化

公開

Ⅲ p.13-17

2

### 年度展開

項目	H19年度	H20年度	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度
1. システム構成・ 運転技術	実証場所選定	系統要求仕様・影響調査	平常時運転指	警報・遮断システムの設計 関連法令手続き	異常時運転指針		
2. ケーブル設計・ 製造	要素技術開発 交流損失<1W/m/ph@2kA 短絡電流対策		30mケーブル 検証(熊取工場)		交流損失低減検討<1W/m/ph@3kA	ケーブル 単体試験(旭)	
3. 冷却系設計・ 製造	冷却システム設計	冷却システム 製造		システム検証 (守谷工場)	冷却システム 単体試験(旭)	システム 総合試験(旭)	
4. 実系統運転							実証運転
5. ケーブル高性 能化						ケーブル高性能化 コンパクト端末開発	
6. 冷却システム 高性能化					システム基本設計	性能検証	長期試験
7. 標準化	標準化項目整理		要素技術データ収集・提供			実証データ収集・提供	

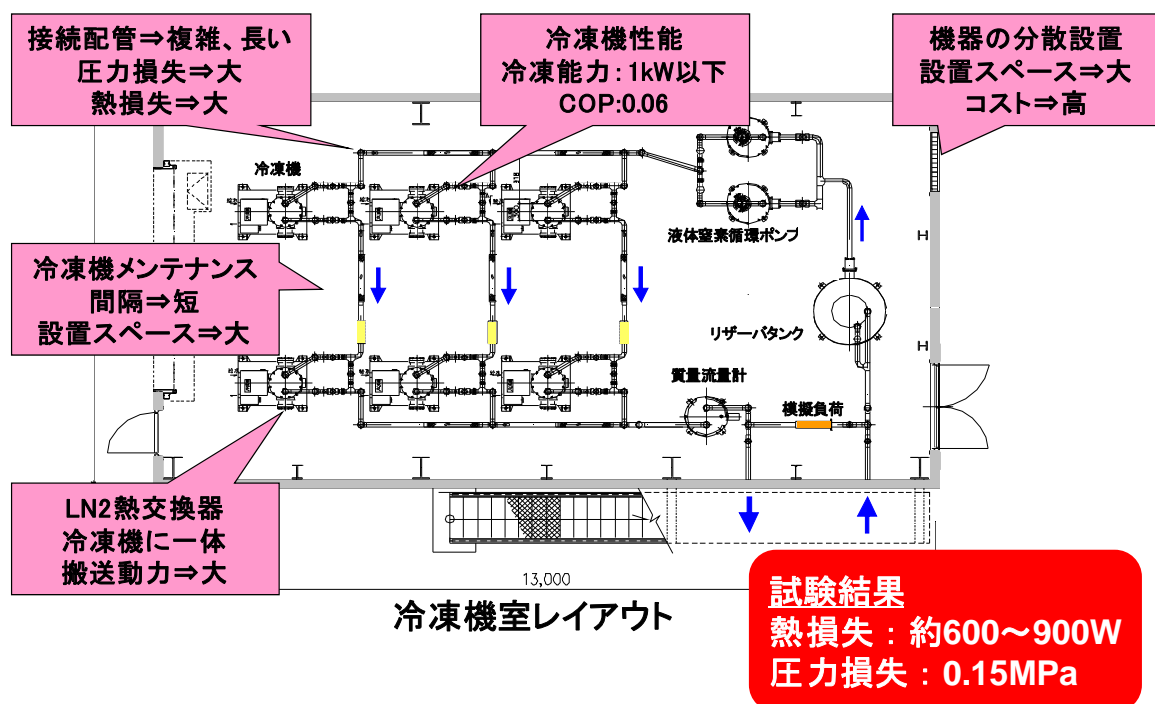
# 事業目標の達成度

**基本計画：** 冷凍能力:5 kW、COP:0.1、メンテナンス間隔:30,000時間以上の性能を満たす大容量高効率冷却システムを開発する

事業目標(実施計画書)		達成度	
項目	内容		
冷却システムの高性能化	(i)ケーブル実用化時の冷却システム要求仕様検討	【1】ケーブル実用化時の冷却システムへの要求事項、実証用冷却システムの課題を整理、開発目標性能を策定	○
	(ii)大容量高効率冷却システムの基本設計	【2】ターボ圧縮機・膨張機の設計、製作、単体試験 【3】冷却システムの全体設計	○ ○
	(iii)冷凍機単体での性能試験	【4】熱交換器、循環ポンプ等を組み合わせた性能試験を実施	○
	(iv)冷却システム全体での性能試験	【5】ケーブルを模擬した熱負荷での制御性や長期の運転性能を確認	○

達成度：◎大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

## 主要成果 【1】実証用冷却システムの課題抽出



## 主要成果 【1】大容量高効率冷却システムの開発目標決定

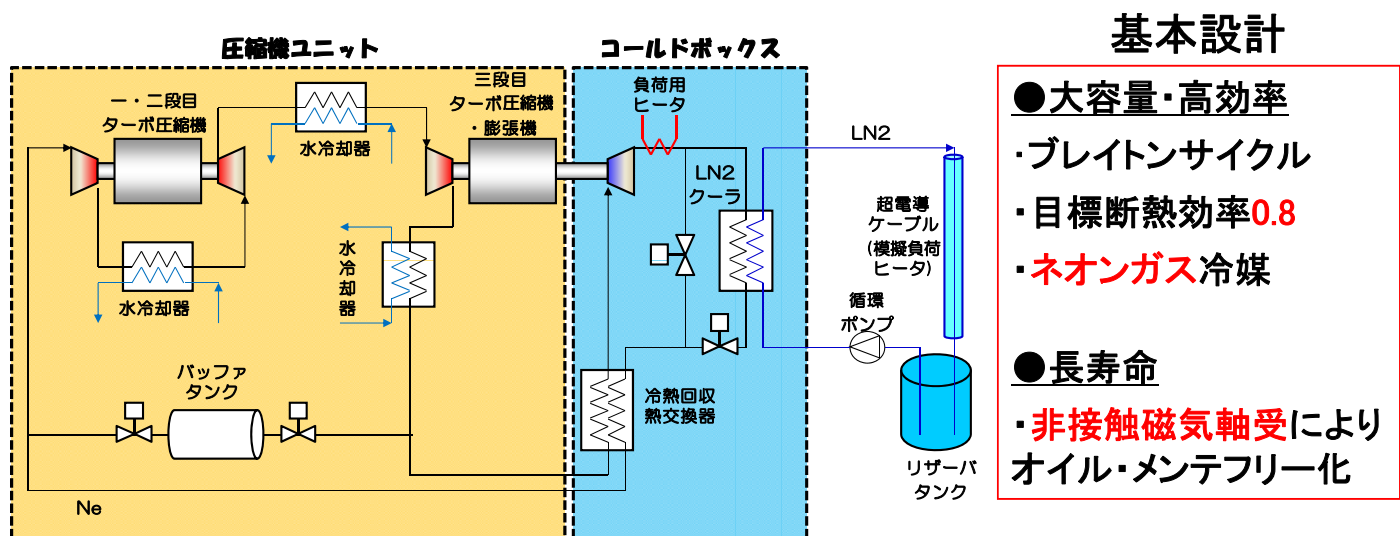
### 高温超電導ケーブル実用化時の要求性能

- ・ケーブル実用化時の必要冷凍能力は**5~20 kW(単機容量)**が望ましい
- ・ケーブルシステム損失を**50 %削減**(従来比)するためにはCOP**0.1**が必要
- ・地中線間接水冷システムの定期検査間隔と冷凍機メンテナンス間隔は**同等である**ことが望ましい

### 大容量高効率冷却システムの開発目標

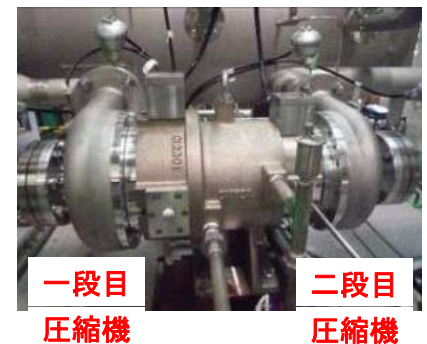
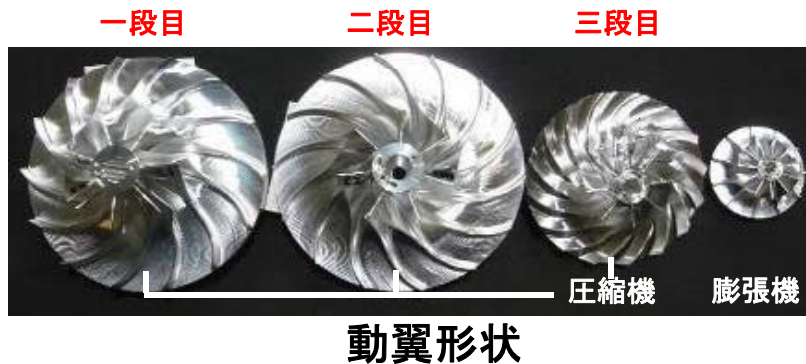
項目	開発目標	従来性能*	開発のポイント	備考
容量	5kW級	1kW	ブレイトンサイクル	10,20kW級へ応用可
COP	0.1	0.06	圧縮・膨張機の高効率化と一体化	冷却水含む
メンテナンス間隔	30,000時間	8,000時間	非接触磁気軸受の開発	間接水冷システムの定期検査間隔を参考

## 主要成果 【2】ブレイトン冷凍システムの基本設計

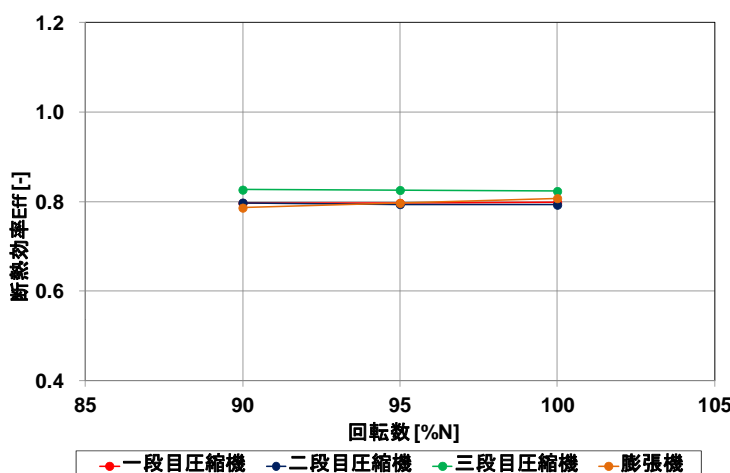


## 主要成果 【2】ターボ圧縮機・膨張機的设计、製作

	単位	一段目 圧縮機	二段目 圧縮機	三段目 圧縮機	膨張機
入口圧力	MPa	0.27	0.37	0.52	0.73
入口温度	K	308	313	313	78
流量	kg/s	0.33			
定格回転数	rpm	47,000		65,000	
目標断熱効率	-	0.8	0.8	0.8	0.8



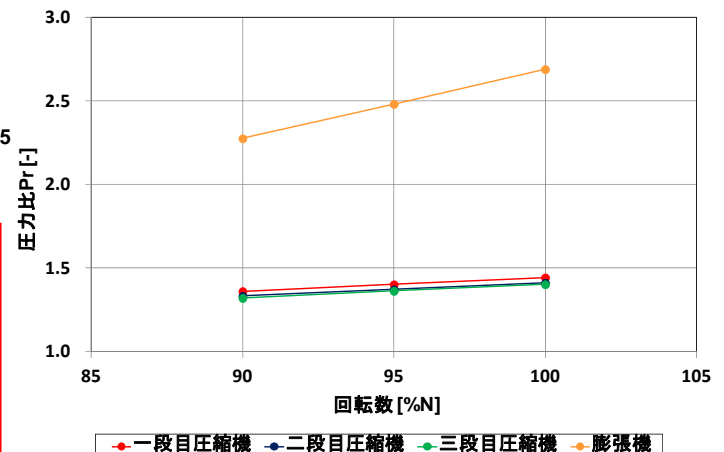
## 主要成果 【2】ターボ圧縮機・膨張機のパフォーマンス試験



ターボ圧縮機・膨張機設計通り

・断熱効率: **0.8**

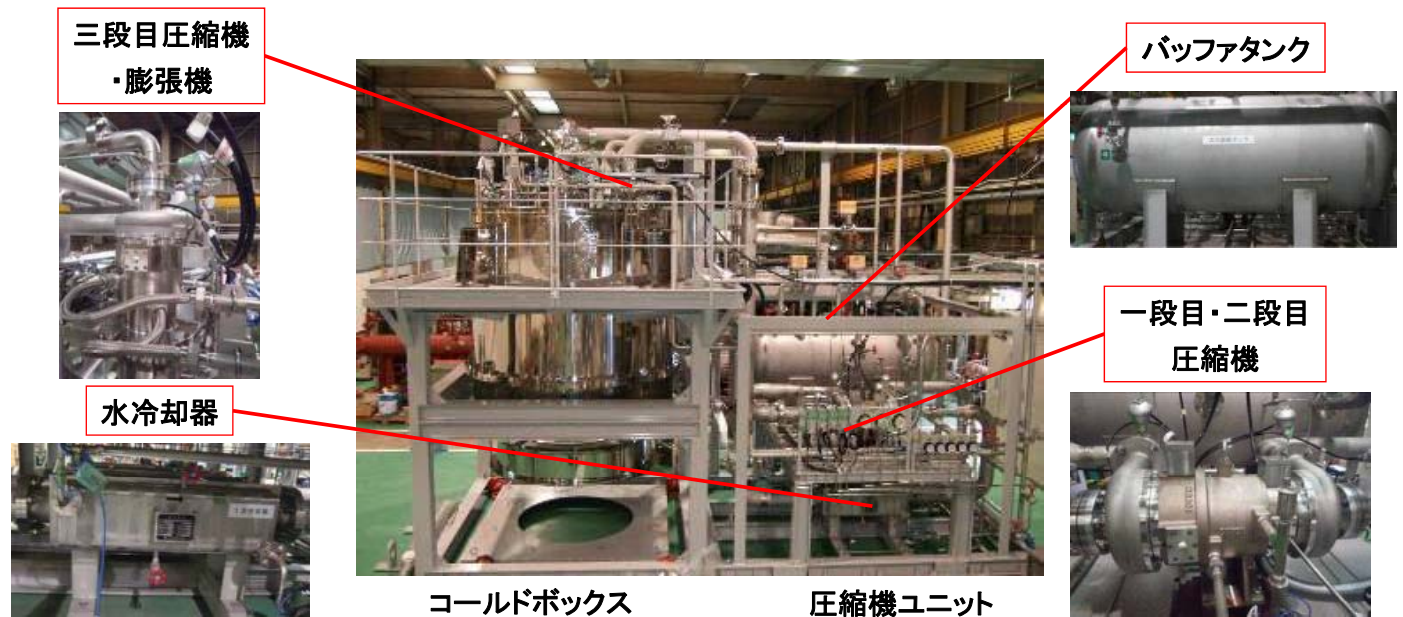
・圧力比: **1.4** (膨張機**2.6**)



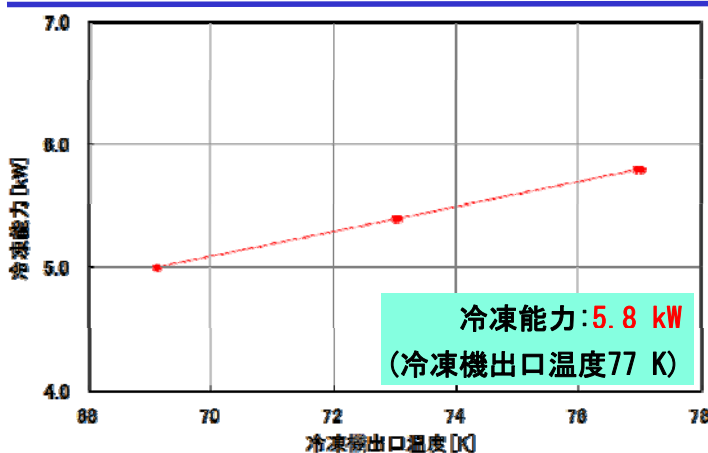
膨張機断熱効率には**圧縮部から膨張部へのガス流通と膨張機動翼部の隙間調整が重要であることを確認**

## 主要成果 【3】ブレイトン冷凍機の全体設計

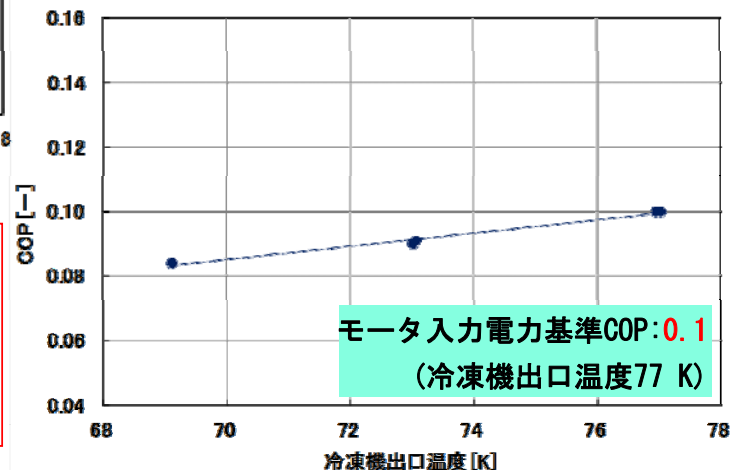
実証用冷却システム建屋の面積や耐震強度等を考慮して設計



## 主要成果 【4】ブレイトン冷凍機の性能試験

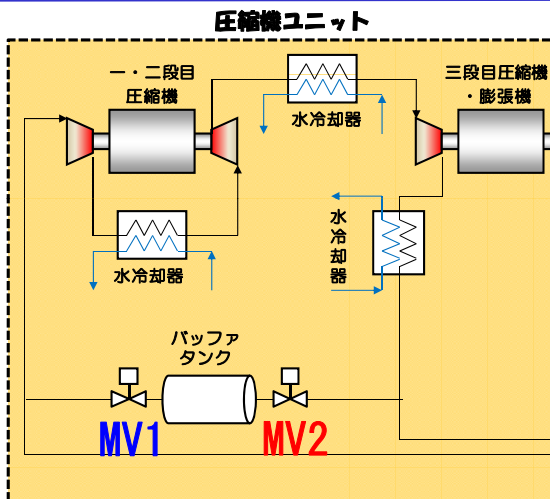


冷凍能力、COPともに  
開発目標を達成



電気総合効率: 80% (設計値90%)  
高速ビルトインモータの風損  
低減により高効率化の可能性

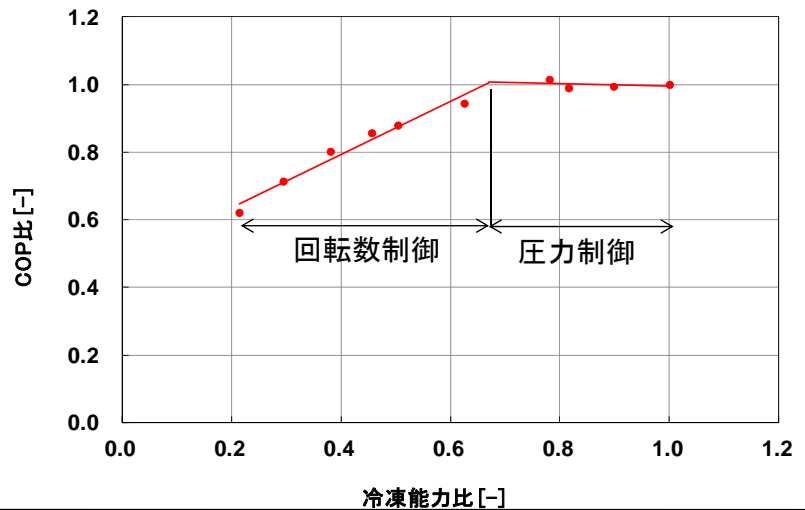
## 主要成果 【4】ブレイトン冷凍機の容量制御



### 容量制御方法

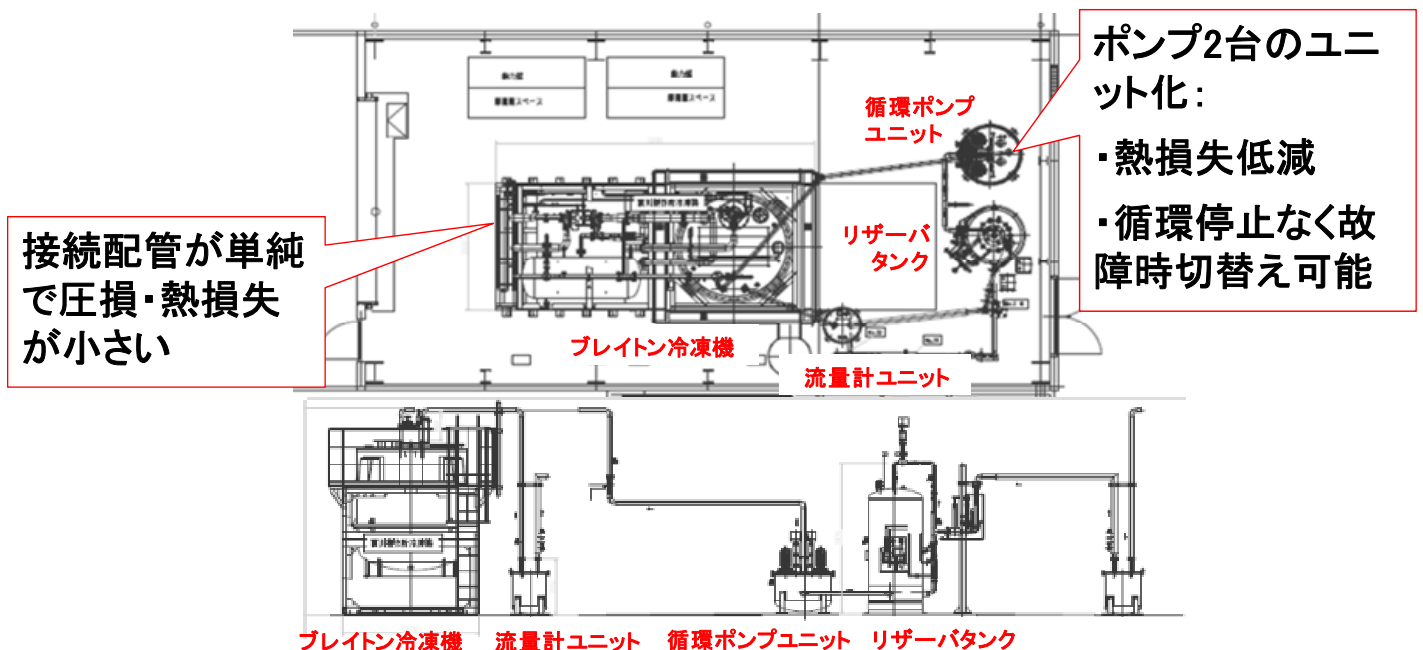
- ・冷凍能力増加 → 循環Ne流量増加 (MV1コントロール)
- ・冷凍能力減少 → 循環Ne流量減少 (MV2コントロール)

高COP一定での容量制御方法を考案 (特許出願)。ケーブル熱負荷の変動に対し、常に**最高COP**で運転可能



## 主要成果 【5】ブレイトン冷却システムのレイアウト

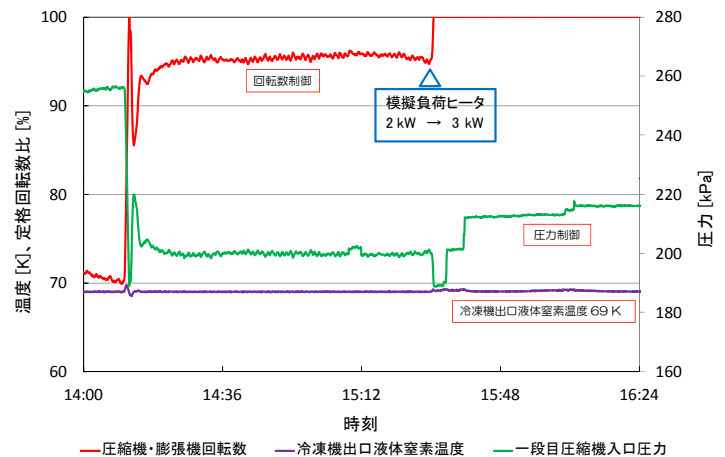
旭変電所冷却システム室に設置した場合



# 主要成果 【5】基本性能確認試験の結果

## 試験結果の一例

項目	内容	結果	
基本性能	循環運転	初期冷却の自動制御を確認	動作性良好。予冷時の消費LN2量・予冷時間低減
	冷凍能力	ブレイト冷凍システムの冷凍能力確認	5.8 kW@77 K
	COP、圧力・熱損失	COP、圧力損失、熱損失確認	COP:0.1 W@77 K 圧力・熱損失は実証用の半分
制御性	温度制御	繰り返しの負荷変動による温度制御性確認	制御範囲内での温度コントロールを確認
	負荷追従性	急激な負荷変動変化における冷凍機制御性確認	冷凍機の容量制御に問題がないことを確認

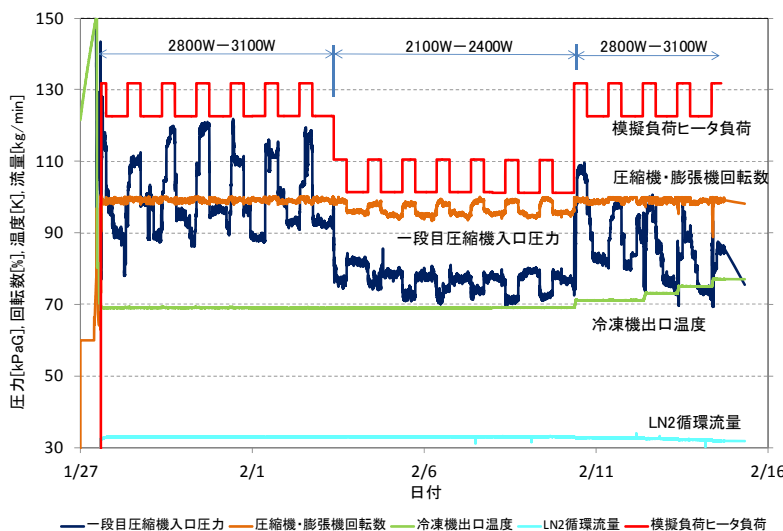


## 負荷追従性試験結果

**性能・機能・制御性ともに良好であることを確認**

# 主要成果 【5】総合運転試験の結果

週	9:00 - 18:00	18:00 -翌9:00	冷凍機出口制御温度	容量制御方式
1	3.1 kW	2.8 kW	69 K	圧力
2	2.4 kW	2.1 kW	69 K	圧力・回転数
3	3.1 kW	2.8 kW	69 - 77 K(+2 K/day)	圧力



**・連続運転での制御性・信頼性を確認**  
**・繰り返し負荷変動での安定温度制御を確認**

## 成果まとめと今後の課題

### 成果まとめ

- ・冷凍能力:5.8 kW、COP:0.1(液体窒素温度77 K)は**開発目標を達成**
  - ・**高COP一定容量制御方法を考案**(特許出願)
  - ・**ケーブル用冷却システムとしての健全性を確認**
  - ・累計1,000時間以上でのトラブルなし
- メンテナンス間隔30,000時間達成の見通し**

### 今後の課題

- ・圧縮機-膨張機でのガス流通、膨張機の間隙調整、モータ部での風損低減により**さらなる高効率化の見通し**
- ・長時間特性評価(メンテナンス間隔 30,000時間)の検討