U.D.C. 621. 384. 665:621. 384. 644. 324::621. 384. 665 621. 384. 668: [621. 592:621. 576. 2]:546. 291-141

電子・陽電子衝突反応粒子検出器"TOPAZ"用 ヘリウム液化冷凍装置

Helium Liquefier and Refrigerator for the e⁺e⁻ Colliding Beam Detector"TOPAZ"

文部省高エネルギー物理学研究所では、トリスタン計画が進められている。この計画の中には、4箇所の電子・陽電子衝突反応粒子検出器の建設があり、その中の一つとしてTOPAZの建設が進められている。これには超電導電磁石が使われている。そのため、ヘリウム液化冷凍装置が必要である。またこの超電導電磁石は、強制循環間接冷却方式という新しい方式を採用しており、液体ヘリウムの循環に液体ヘリウムポンプを使用する。

日立製作所は、昭和43年の国産1号機開発から長年にわたる開発研究、実績を基に、TOPAZ用へリウム液化冷凍装置を担当することになった。ここでは、その内容について報告する。

土井義城* Yoshikuni Doi
山本 明** Akira Yamamoto
栗田義久*** Yoshihisa Awada
和田 治**** Osamu Wada

□ 緒 言

トリスタン計画の電子・陽電子衝突反応粒子検出器には、 多くの場合超電導電磁石が使われる。 4 箇所の衝突実験室の 1 箇所に、愛称が"TOPAZ"と命名された検出器のための超 電導電磁石用へリウム液化冷凍装置などの製作が進められて いる(図1参照)。この超電導電磁石の冷却は、強制循環間接 冷却方式が採用され、また、液体へリウムの供給にポンプが 使われ、この種の大形超電導電磁石の冷却方式として注目さ れている。

本論文では、超電導電磁石の冷却システム、TOPAZ用へリウム液化冷凍装置仕様及び液体へリウムポンプの開発内容について報告する。

2 冷却システム

2.1 冷却方式

超電導電磁石の冷却には、電磁石全体を液体へリウムに直接浸す直接冷却方式と、超電導電磁石内に配設したパイプ内に冷媒の液体へリウムを強制循環させ、間接的に冷却する方式の二つの方法がある。

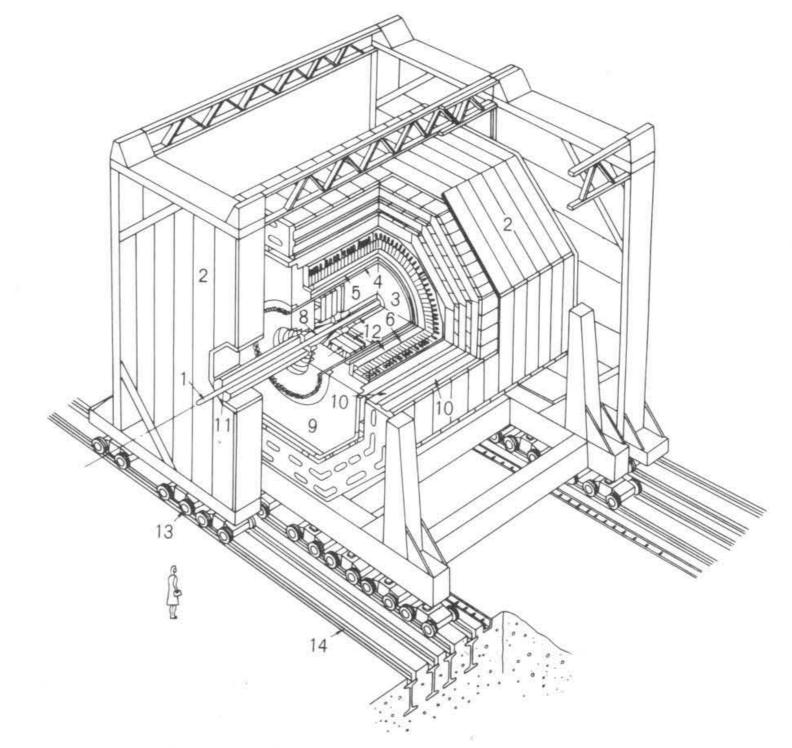
しかし,超電導電磁石の大形化が進むにつれ,直接冷却方式では,冷媒の液体へリウムを大量に貯液しなければならず,装置の大形化などが必要となる。

一方,強制循環間接冷却方式の場合,超電導電磁石内のパイプにある液体へリウム量は,直接冷却方式の量に比較して, 10以下であり,この利点を生かし,TOPAZの超電導電磁石は,強制循環間接冷却方式が採用された。

2.2 特 徵

冷却システムの主な特徴は次に述べるとおりである。

- (1) 電磁石の冷却方式は、強制循環間接冷却方式を採用し、 電磁石内の液体へリウム保有量を、直接冷却方式に比較し10 以下と少なくしている。
- (2) 電磁石への液体へリウム強制供給のため、液体へリウムポンプを採用している。液体へリウムポンプは、遠心式とし、長時間連続運転に対応できるようにしている。



No.	名 称
1	ビームパイプ
2	ドリフトチェンバー
3	タイムプロジェクションチェンバー
4	シンチレータ
5	超電導ソレノイド電磁石
6	鉛ガラスチェレンコフカウンタ
7	気体シャワーカウンタ
8	超前方シャワーカウンタ
9	磁束リターンヨーク
10	μ粒子用鉄フィルタ
11	ビーム収束用四極電磁石
12	支 持 台
13	移動用車輪
4	移動用レール

注:文部省高エネルギー物理学研究所提供

図 I 電子・陽電子衝突反応粒子検出器 心臓部の超電導ソレノイド電磁石が中心に配置され、これを4.4Kに冷却保持するためヘリウム液化冷凍装置が使われる。

^{*} 文部省高エネルギー物理学研究所 ** 文部省高エネルギー物理学研究所 理学博士 *** 日立製作所笠戸工場 ***** 日立製作所機電事業本部

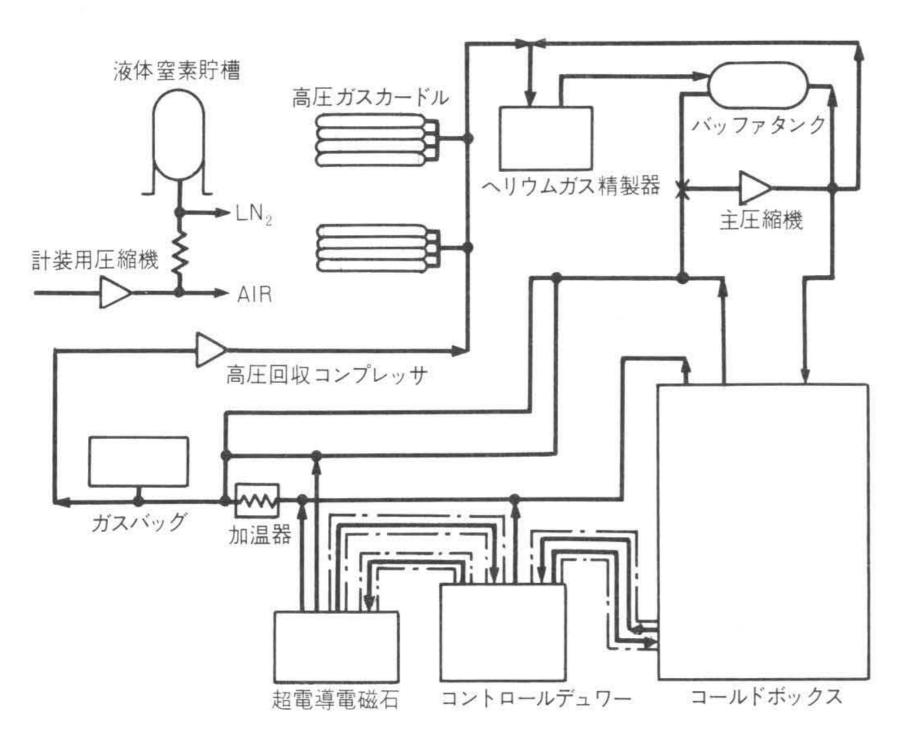


図 2 TOPAZ用ヘリウム液化冷凍装置の構成図 超電導電磁石を4.4Kに冷却、保持するため、コールドボックスで発生させた液体ヘリウムをコントロールデュワーを介して超電導電磁石に供給する。

- (3) コントロールデュワーに液体へりウムを常に保有しているので、コールドボックスなど冷凍機側に異常が生じても、この保有液を液体へりウムポンプで電磁石へ供給し、数時間の運転継続が可能である。
- (4) コントロールデュワーへの液体へリウムの供給にフレキシブル四重管式トランスファチューブを採用し、超電導電磁石の予備試験、本試験時のコントロールデュワーの試験位置の変化に自在に対応可能にしている。
- (5) 初期予冷から定常運転,加温に至るまで,分散形自動制御システムを用いた全自動運転を目指している。

図 TOPAZ用ヘリウム液化冷凍装置

TOPAZ用へリウム液化冷凍装置は、電子・陽電子衝突反応 粒子検出器の超電導電磁石を4.4Kまで冷却し、その温度を保 持するための装置である。

本装置の構成図を図2に示す。本装置は、主圧縮機、コールドボックス、液体へリウムポンプを内蔵したコントロールデュワー、バッファタンク、ヘリウムガス精製器、ヘリウムガス回収系(ガスバッグ、高圧回収コンプレッサ、高圧ガスカードル)、液体窒素貯槽及び計装空気設備などから構成される。以下、主な機器について、その内容を述べる。

3.1 コールドボックス

コールドボックスは、熱交換器にアルミプレートフィン式熱交換器、膨脹機に動圧ガス軸受式膨脹タービンを採用し、連絡配管、ジュールトムソン弁(以下、JT弁と言う。)などと組み合わせたクロードサイクル式で、装置能力は、液化100l/h、冷凍300W(at 4.4K)である。

第5熱交換器の冷端側に気液分離槽を設け、次の二つの機能をもたせている。(1)コントロールデュワーに液体へリウムだけを送るときの気液分離、(2)コールドボックス内のJT弁(PCV-102)とコントロールデュワー内のJT弁(LCV-7)を使って、2段膨脹を行なうとき、この気液分離槽で1段膨脹後のヘリウムガスを過冷却にする。

本コールドボックス内のフローを図3に,外観を図4に示す。

3.2 コントロールデュワー

コントロールデュワーは、**図2**に示したようにコールドボックスと超電導電磁石の中間に位置し、(1)コールドボックスから移送されてきたへリウムガスの液化(JT効果を利用した。)及び液体へリウムの貯液、(2)液体へリウムポンプ及び熱交換器を用いた過冷却液体へリウムの超電導電磁石への供給、(3)各運転モードに応じた寒冷の流路及び流量の制御など

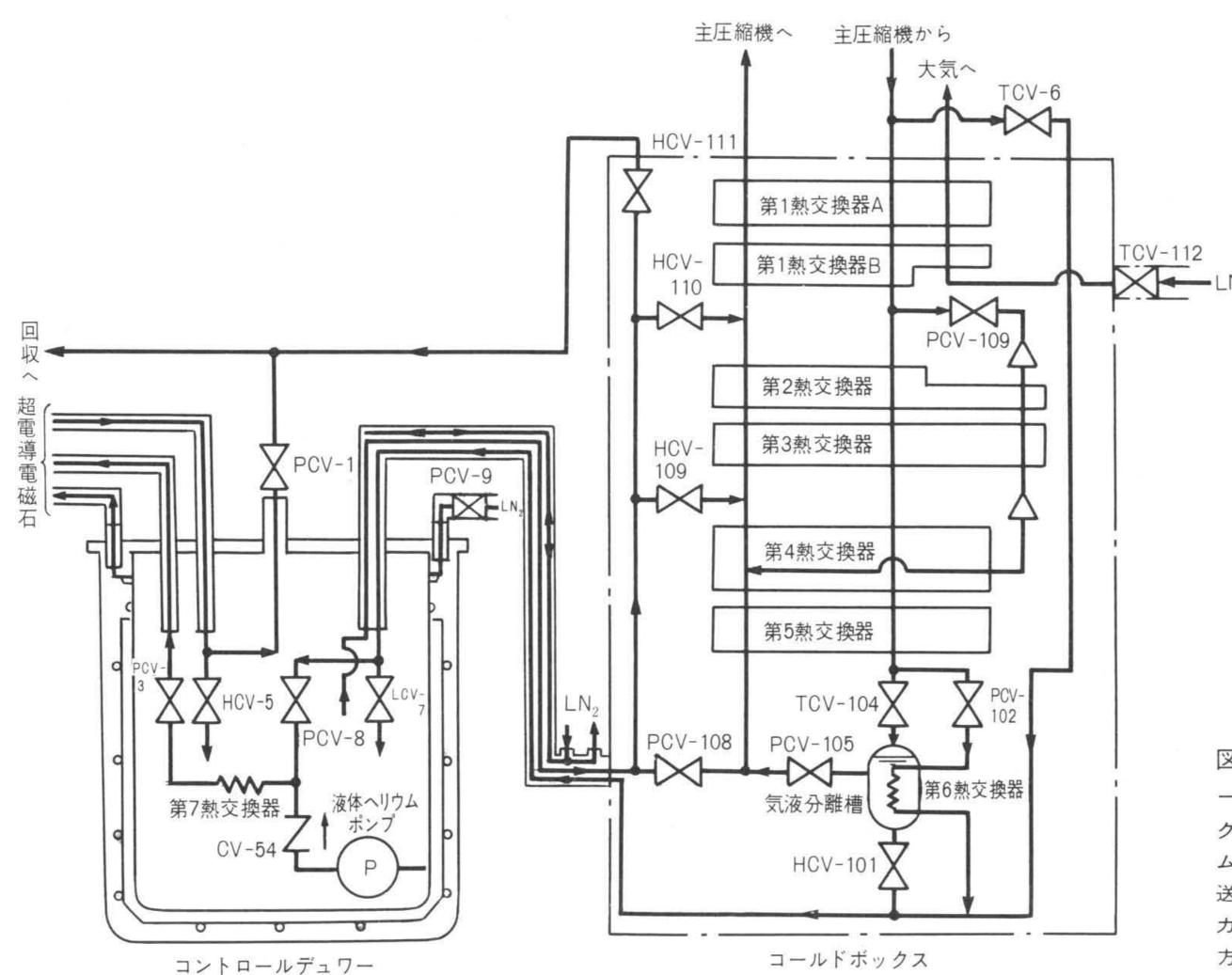


図3 コールドボックス及びコントロールデュワーのフロー コールドボックスからコントロールデュワーに液体へリウムを送るのに、HCV-101弁を使って飽和液を送る場合と、PCV-102弁で膨脹後のヘリウムガスを気液分離槽で過冷却して送る場合の2方法が選択できるようになっている。

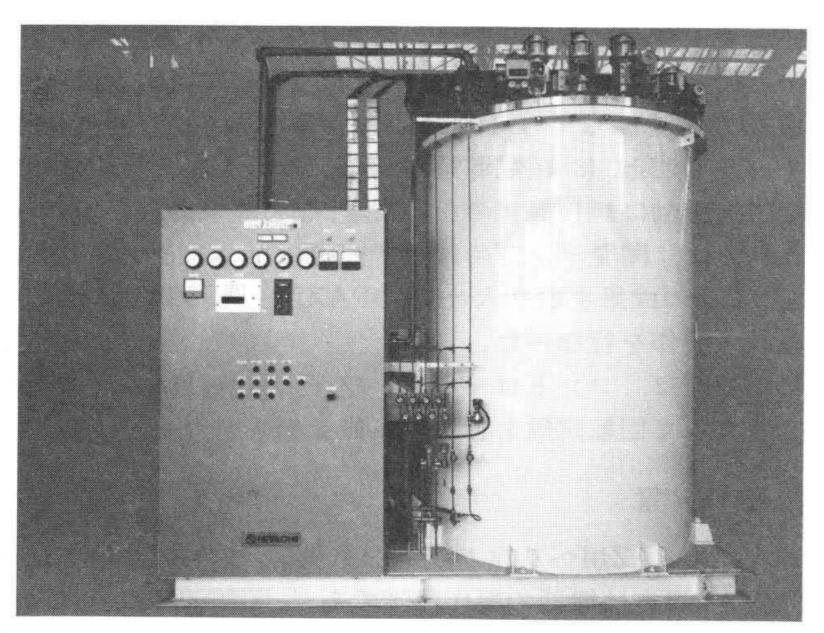


図 4 コールドボックス外観 熱交換器,膨脹タービン,自動弁などか ら構成されたコールドボックスと、中継盤を同一スキッドにまとめユニット化 を図っている。

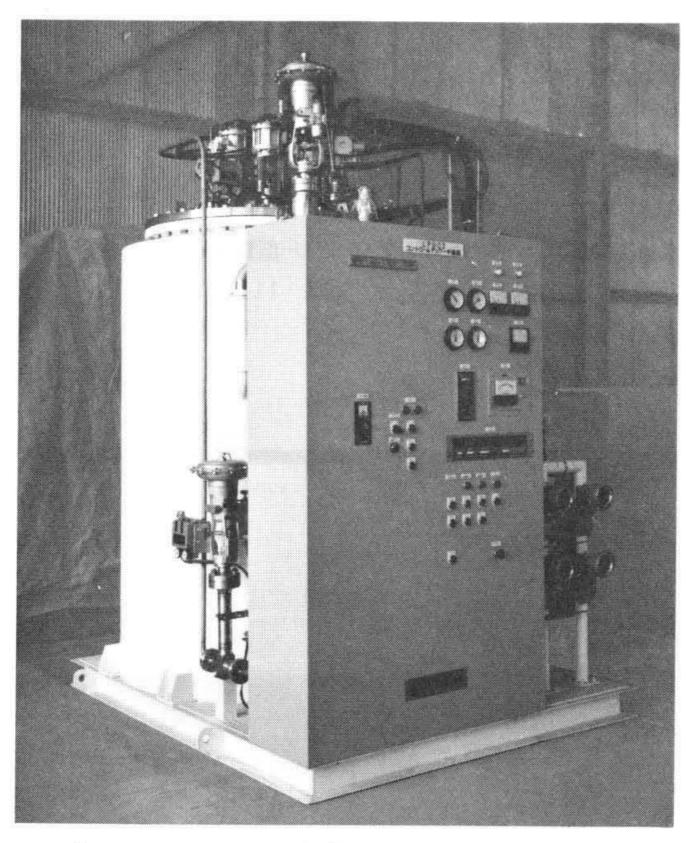


図 5 コントロールデュワー外観 液体ヘリウムポンプ, 自動弁など を組み込んだコントロールデュワーと、中継盤を同一スキッドにまとめユニッ ト化を図っている。

の機能をもっている。

そのため、コントロールデュワーは、液体窒素シールド及 び積層断熱材(スーパインシュレーション)を内蔵した真空槽 により断熱されたデュワー,液体へリウムポンプ,過冷却熱 交換器,弁、計器,配管などで構成される。

コントロールデュワーは、液体へリウムを通常時8001(最大 1.000l) 貯液するとともに、超電導電磁石へ10g/s(約300l/h) の液体へリウムを供給することができる。

コントロールデュワーは、製品完成後、侵入熱試験を実液 の液体へリウムを用いて実施した。その結果、保証値30Wを 十分満たすことを確認できた。

本コントロールデュワー内のフローは図3に示したとおり であり、外観を図5に示す。

3.3 ヘリウムガス精製器及びヘリウムガス回収系

へりウムガス精製器は、中圧精製方式(運転ゲージ圧力:15 kg/cm²)で、処理量100Nm³/h、連続運転時間120hで、一塔自動 再生方式である。

本精製器は、コールドボックス、コントロールデュワー、 超電導電磁石などシステムの初期冷却時に連続運転され,定 常運転に入るとこれらから切り離され、再生完了後待機状態 にされる。

へリウムガス回収系の回収方式は、ガスバッグ、ゲージ圧 力150kg/cm²の高圧回収コンプレッサ及び高圧ガスカードルを 用いた高圧回収方式で、回収能力は100Nm³/hである。

3.4 制御系

へりウム液化冷凍装置の運転開始から、超電導電磁石の初 期冷却, 定常運転, 加温, 装置運転停止に至るまで、各種運 転モードの選択、移行、シーケンス及びフィードバック制御、 監視などについて、コンピュータを導入した全自動制御を目 指している。

液体ヘリウムポンプ

4.1 開発の経緯及び結果

超電導電磁石の冷却方式は、強制循環方式が今後の主流に なると予想し、この方式実現のため、4.2Kで運転できる信頼 性の高い液体へリウムポンプを昭和58年3月に開発した2)。 本ポンプの主な特徴は,

- (1) 遠心式で、脈動なく連続的に液を送ることができる。
- (2) ジャーナル及びスラストの各軸受は、摺動部のない動圧 ガス軸受方式を採用したので、2万min⁻¹の高速回転を実現 し、油潤滑方式では得られないクリーンさと、往復動式とは 比較にならない長時間連続運転を可能にした。
- (3) 羽根車は、チタン合金の素材を精密加工し、シュラウド を拡散接合ではり合わせた外形25mmの小形フルシュラウドタ イプで、効率向上を図っている。
- (4) シャフトにチタン合金を使って軽量化し、またポンプ駆 動部の常温部から羽根車の極低温部への熱侵入を極力抑えて いる。

などである。

開発したポンプの外観を図6に示す。

本ポンプの液体へリウムを使っての性能試験結果として, ポンプ特性曲線を図7に示す。

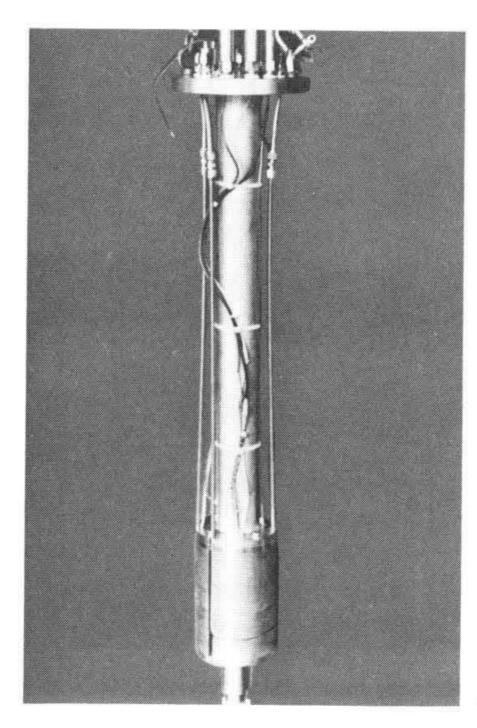


図6 液体ヘリウムポンプ ポンプ本体は上部フランジからつり 下げられ、最下部に羽根車があり、 その上の太くなっている部分に雷動 機、軸受などが内蔵されている。

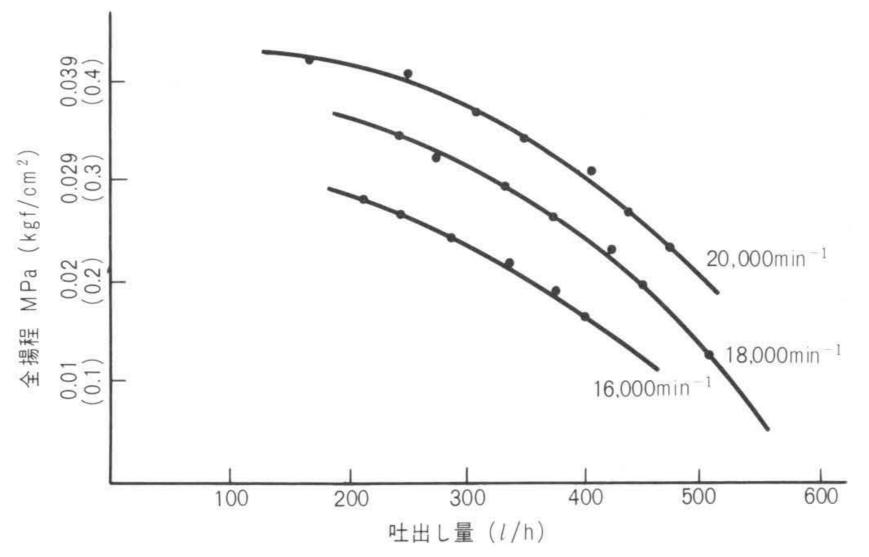


図 7 ポンプ特性曲線 ポンプはインバータによって回転数を可変して 運転できる。

信頼性確認として、液体へリウムを使っての連続運転及び 超電導電磁石のクエンチなど、負荷側の急激な圧力変動に対 してのポンプ運転状況把握などの試験を文部省高エネルギー 物理学研究所で行なった。

連続運転では安定した運転結果を得、また後者の試験では、ポンプ吐出し弁を急激に閉止することでその状況をつくり出したが、ポンプは異常なく運転できた。

4.2 TOPAZ用液体へリウムポンプ

TOPAZ用液体へリウムポンプは, 前述したようにコント

ロールデュワーに組み込まれ、超電導電磁石へ液体へりウム供給に使われる。そのため、(1)長期連続運転に対する信頼性、(2)寒冷損失を少なくするためポンプ本体の熱侵入量を極力低く抑えること、(3)超電導電磁石のクエンチなど負荷側の急激な圧力変動に対し異常のないこと、などが求められている。

これらは、開発ポンプの試験で問題のないことが確認されており、この成果を取り入れ、TOPAZ用液体へリウムポンプの設計・製作を行なった。

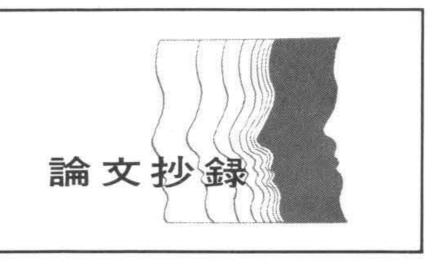
本ポンプは、コントロールデュワーの試験時に、液体へリウムを使って回転試験を行ない良好な結果を得た。

5 結 言

以上,TOPAZ用へりウム液化冷凍装置の内容について述べてきたが,現在は機器の製作段階であり,昭和60年3月には装置全体が完成の運びとなる。完成後は,物理実験の一翼をになうとともに,装置の全自動化のための開発研究も進められる。トリスタン計画の第2期計画では,陽子加速用超電導加速器が予定され,へりウム液化冷凍装置も大形化するとともに,電磁石への液体へリウムの効率の良い供給技術がより必要性を強めると考えられるので,開発及び実機で得た技術を更に発展させ,大形化,信頼性向上に対処する考えである。

参考文献

- 1) 文部省高エネルギー物理学研究所要覧(昭58-6)
- 2) 第30回低温工学研究発表会, C3-11



工業用物体認識

日立製作所 秦 清治 電気学会雑誌 104-6,479~486 (昭59-6)

画像処理の工業応用は、昭和40年代の視覚を応用した全自動ワイヤボンダをはじめとして、最近ではマイクロエレクトロニクスの発達を背景に、積極的な展開をみせている。

ところで、物体認識技術の工業応用の特質としては、(1)高速処理であること、(2)認識判定に高い信頼性が要求されること、(3)小形、低価格でなければならないこと、などが挙げられる。このため、ハードウェア的、アルゴリズム的に、他の分野とは異なる各種の工夫が必要となる。

工業用の物体認識アルゴリズムは,大きく2値画像処理,濃淡画像処理,3次元画像処理の三つに分けて考えることができる。

2 値画像処理では、テレビジョン画面を 通常 $m \times n$ のメッシュに分割し、その一つ一 つの要素(画素)が白・黒の二つの値で表現さ れる画像に対して処理を行なう。この処理 方式としては、物体の画像の面積や周囲の 長さなどの特徴量を組み合わせて物体認識 を行なう方法(SRIアルゴリズム)、物体の 画像の特徴のある部分を辞書パターンとして記憶しておき、入力画像と重ね合わせて比較する方法(パターンマッチング法)が有名である。しかし、これらの技法が、重なった部品などの判別に対してはそれほど有効でないため、最近、画像の輪郭を抽出し、それに基づいて物体認識を行なう線分化アルゴリズムやLFM(Local-Feature Focus Method)などが開発された。

濃淡画像処理は、画素の明るさを6~8 ビットの数値で表現し、処理するもので、 空間微分オペレータによる境界抽出など、 数多くの研究が行なわれている。従来ハー ドウェア的に大規模となるため実用化が十 分でなかったが、最近のLSI技術の導入に より応用が拡大してきている。

3次元画像処理は、最近盛んに研究されている分野である。スリット光を物体に投影しておき、別の角度からテレビジョンカメラで見て、三角測量の原理から3次元画像を得る方法(光切断法)、濃淡画像での光の明るさの変化から面の傾きを計算して、3

次元画像化する方法などが開発されている。 画像処理のための専用処理装置の開発も

盛んに行なわれている。日立製作所では、 積和形の濃淡画像処理を並列回路により高 速処理する多機能画像処理LSI、ISPを開 発し、それを応用して画像処理装置HIDIC-IPを開発した。2値画像処理では、SRIア ルゴリズムによるマシン・インテリジェン ス社のVS-100、富士電機株式会社のマル チウィンドウ形ビデオセンサなどがそれぞ れ特徴のある処理を行なっている。

物体認識の工業応用の例としては、光学系の工夫により簡単な回路で高速にきず検出を行なうエナメル線欠陥検出装置、典型的な画像処理応用である、電気部品の足の位置をテレビジョンカメラで測定し、その結果を基に部品挿入を行なう部品装入機、専用高速画像処理装置によるLSIホトマスクパターン検査装置などがある。