U.D.C. [621. 384. 665:621. 384. 644. 324::621. 384. 665]:621. 318. 3

小特集 高エネルギー加速器

トリスタン計画の概要とその電磁石 **Outline of TRISTAN Project and Magnets**

現在, 文部省高エネルギー物理学研究所で推進中のトリスタン計画は, 電子と陽 電子を加速し,超高エネルギー現象を解明しようとする巨大加速器の建設計画であ る。トリスタン計画のトンネル内に設置される各種電磁石(偏向電磁石320台,四極 電磁石462台)を日立製作所が受注し、製作を完了した。

各電磁石の磁場分布特性が10-4の精度を要求されるため、電磁石鉄心材料の磁場 特性をそろえるためのシャフリング、高精度鉄板打抜き技術の開発、組立磁極精度 0.05mm以下にするための鉄板積層及び溶接生産設備の開発, 寸法精度測定設備の開 発などを実施し,先行試作品各1台完成後磁場特性を測定し,性能確認を行ない, 以後の量産を実施した。

文部省高エネルギー物理学研究所では、本電磁石を用いて直径120mの入射蓄積リ ング(6 GeV)は既に運転に成功しており、一方、電子リング(30 GeV)は昭和61年に 完成する予定である。

遠藤有聲*	Kuninori Endô
庄山悦彦**	Etsuhiko Shôyama
斎藤龍生**	Ryûsei Saitô
橋本 宏**	Hiroshi Hashimoto

1 緒 言

トリスタン計画とは, Transposable Ring Intersecting Stor- 立場から決定された。その計画の背後には重要な素粒子物理 子の研究を行なうための大形加速器建設計画である。

age Accelerators in Nipponの頭文字をとったもので,素粒の課題があり,加速器特に主要構成要素である電磁石の製作 にかかわる技術的にも厳しい要求が課せられる。

本計画に使用される各種電磁石は、加速器としての性能を 満足するために厳しい仕様が要求される。特に同一性能の電 磁石が大量に使用されるため, 個々の特性はもちろん, 各電 磁石の特性のばらつきをいかに小さくするかが最大の課題で ある。

そのため,材料特性の吟味,高精度加工高精度組立法の開 発,各要素技術の開発,寸法管理の徹底,部品の品質管理な ど高度な生産技術と十分な品質保障体制を確立し生産を進め た。一方, 短期間に大量の電磁石を生産しなければならない ことから,作業の連続化,設備の自動化と有機的なレイアウ トを考慮した総合的な生産ラインを確立し,大量生産化を可 能とした。また作業者の教育,訓練,作業認定などを十分に 実施し、人為的な作業ミスを防止し、高品質、高性能の電磁 石を完成することができた。

本電磁石を短期間に完成できた背景には、昭和49年に文部 省高エネルギー物理学研究所に納入したプロトンシンクロト ロン用電磁石の製作経験と実績,更には日立製作所の回転電 気機械技術の総合力を効果的に応用、かつ適用できたことな どがある。

本論文では、日立製作所が担当した各種電磁石の技術的内 容について述べる。

計画の概要 2

トリスタン加速器は一つのリングの中で電子と陽電子を同 時に加速し衝突させる貯蔵型シンクロトロンである。その規 模は文部省高エネルギー物理学研究所の敷地内に建設でき,

2.1 トリスタン計画の課題

1974年のJ/ψ粒子の発見は素粒子物理の歴史で衝撃的なも のであり,多くの仮説を積み上げてたどり着いた現代物理学 の概念を検証する実験が、これを契機に始まった。過去に発 見された100種類を超える素粒子群が実はより基本的な数種 類のクォークから構成されるとする理論は、物質の究極的な 構造を解明しようとする試みの上に立てられた仮説であり, 新粒子の発見はcクォークの存在を実証するものとして受け 入れられた。間もなく新しいエネルギー領域を求めてまず西 ドイツにPETRA、そして米国にPEP更にCESRが建設され 実験が開始された。トリスタン計画にはこのような背景があ り、加速器の出せるエネルギーの最大値がそれにより得られ る知識の限界であるとすれば、より高いエネルギーを求めて

表 | 世界の代表的な衝突型加速器及び建設計画 世界の代表的な 衝突型加速器及びその建設計画を示す。

場所	愛称	粒子	エネルギー (GeV)	ルミノシ ティー (cm ⁻² s ⁻¹)	完成又 は完成 目標年
フェルミ国立加速器 研究所 (米国)	TEVATRON	pp	I,000×I,000	10 ³⁰	1986
高エネルギー物理学	TRISTAN	e+e-	30×30	10 ³¹	1986
研究所 (日本)		e [±] p	25×300	10 ³¹	::
ヨーロッパ国際原子	SPS	pp	270×270	1 0 ³⁰	1982
核研究所 (スイス)	LEP	e+e-	50×50	I 0 ³¹	1988
スタンフォード線型加 速器センター(米国)	PEP	e+e-	18×18	10 ³¹	1980
	SLC	e+e-	50×50	I 0 ³⁰	1988
ドイツ電子シンクロト	PETRA	e+e-	20×20	I 0 ³¹	1979
ロン研究所(ドイツ)	HERA	e [±] p	30×800	I 0 ³¹	1988
コーネル大学(米国)	CESR	e+e-	8 × 8	10 ³²	1979

施設·	設備面から	実現可能な	最大級の	ものとす	るという枠	を
設け,	更に世界的	」にますます	巨大化す	る素粒子	実験は巨額	0
予算を	必要とし,	国際分業を	・迫られる	ことが必	要の状況に	あ
る中で	,外国の加	速器に対し	て相補的	な性格を	もたせると	\mathcal{O}

* 文部省高エネルギー物理学研究所 工学博士 ** 日立製作所日立工場

792 日立評論 VOL. 66 No. 11(1984-11)



(1)トリスタン電子リング
 (2)トリスタン実験エリア(富士)
 (3)トリスタン実験エリア(日光)
 (4)トリスタン実験エリア(筑波)
 (5)トリスタン実験エリア(大穂)
 (6)12GeV陽子シンクロトロン
 (7)2.5GeV電子リニアック
 (8)2.5GeV電子貯蔵リング
 (9)8GeV電子・陽電子入射蓄積リング
 (10)200MeV大強度電子リニアック

図 | トリスタン計画の配置図 トリスタン計画全体の配置図を示す。 トリスタンリングの平均直径は約960mである。

やまないのは素粒子物理の宿命である。粒子の衝突によって 解放されるエネルギーが,新しい素粒子の生成に利用される 側に設けられる直線部には四極電磁石と交互に高周波加速空 洞が設置され,ここで電子及び陽電子の加速が行なわれる。

電子の軌道は主としてリングを構成する偏向及び四極電磁 石によって決定される。偏向電磁石は電子の進路を曲げて円 形軌道を作る役目をもち,電子は偏向電磁石で確立された平 衡軌道の周りを振動しながら運動する。四極電磁石はこの振 動が発散しないよう収束させる役目を負う。貯蔵リングでは 同じ磁場の中を同じ電子が長時間にわたって何回となく繰り 返し通過するので,磁場の誤差が小さくても積み重なって電 子の運動に影響を与える。ルミノシティも磁場の誤差や電磁 石のアライメントの誤差などの影響を受けて低下する。

磁場有効領域の大きさは、電子ビームの寿命を十分長くす る必要上、ビームの横幅と高さの10倍をもとにして、それに 平衡軌道の偏差に対する余裕などを考慮して決められる。そ の領域内で磁場の強さが設計値の許容誤差以内になるよう に、電磁石の製作精度を上げなければならない。電磁石の性 能は軸方向に磁場を積分した値によって評価され、許容誤差 は~10⁻⁴である。個々の偏向電磁石の性能のばらつきは、電子 の平衡軌道の偏差となって現われる。また四極電磁石の磁場 こう配の積分値のばらつきは、電子のベータトロン振動の不 安定領域(共鳴幅)を広げる。電磁石に軸周りのねじれ又は傾 きがあれば、偏向電磁石では水平方向の磁場成分を発生させ、

ことから静止標的型の加速器の場合の有効エネルギーは、ビ ームのエネルギーの平方根に比例するにすぎないが、もし二 つの粒子を同時に逆向きに加速して正面衝突させ、衝突点で 両者が静止するならば、両方の粒子のもつ全エネルギーを有 効に利用することができる。電子・陽電子衝突型シンクロト ロンは一つの貯蔵リングで電子とその反粒子である陽電子を 正面衝突させる加速器である。世界の代表的な衝突型加速器 とその建設計画を**表1**¹に示す。

J/ψ粒子に続き, τ粒子及び5番目のbクォークとその反ク オークの結合状態と考えられる T粒子が発見されるに及ん で,6番目のtクォークの検証が主要な課題となってきた。ト リスタンで行なえる課題としてtクォークの検証はもちろん のことであるが,これ以外にも新しいクォークやレプトンが 存在する可能性もあり,新粒子の探索はトリスタン計画の重 要な課題の一つである。この外にも量子色力学の理論の検証, 並びに,弱い相互作用を媒介するW粒子およびZ粒子の発見 は記憶に新しいところであるが,Z粒子の媒介する素粒子反 応を調べることにより,弱い力と電磁力を統一する理論の検 証などが挙げられる。

2.2 加速器における電磁石の役割

8

衝突型加速器では密度の低いビーム同士が衝突するため、 相互作用の確率は静止標的型の加速器に比べて極めて小さ く、大部分の粒子は衝突しないで素通りしてしまう。素粒子 実験の立場から衝突頻度の目安を与えるルミノシティの大き さが問題になり、それが最大になるように電子・陽電子衝突 リングの主要パラメータが最適化された。トリスタン加速器 は二つの貯蔵リングから構成され、その全体の配置を図1¹¹ に示す。入射蓄積リングでは、放射光施設のリニアックから 垂直方向の電子の運動に影響する。四極電磁石では,電子の 水平運動と垂直運動のカップリングを生ずる。不整磁場がビ ームに及ぼす影響の面から電磁石の精作精度をみるとき,電 磁石の性能に影響する要素を極力取り除くことが加速器の性 能を向上させることにつながる。例えば,鉄心の電磁鋼板の 品質・加工精度・積層精度やコイルの寸法精度・取付け精度 などが考えられる。

更に、電磁石をリング内にアライメントする場合にも、その誤差が電子の運動に影響する。軸周りの傾きは鉄心のねじれに相当し、四極電磁石が、水平あるいは垂直方向にずれていると、平衡軌道の偏差となって現われる。リング内の予定位置に精密にアライメントするために、電磁石上面に加工された測量用基準面を利用する。シミュレーションから予測される許容誤差はrms~0.1mm、傾きはrms~0.1mradであり、この誤差を考慮した基準面の加工が必要とされる。

電磁石の製作精度に関する仕様には厳しいものがあり,そ のうえ加速器の発生する強い放射線の環境の中で,十分使用 に耐える材料の選択も重要である。製造される多数の電磁石 の品質を一定に保つための技術がどんなものであるか,その 内容について次章以下で詳しく述べる。

3 偏向電磁石

偏向電磁石は主として鉄心、コイル、架台から成っている。
入射蓄積リング用及び電子リング用各偏向電磁石のパラメ
ータを表2に、偏向電磁石の製作ステップを図2に示す。
3.1 鉄 心

鉄心用の鉄板は新日本製鐵株式会社製TRM材(けい素鋼板)を使用した。磁気特性として,圧延方向(L方向)の磁化力

入射される2.5GeVの電子又は陽電子を8GeVまで予備加速	5,000A/mでの磁束密度 (B_{50}) の標準値を規定し、そのばらつ
する。その後電子と陽電子は電子リングにそれぞれリングの	きの許容値($\pm \Delta B$)を制限した。各電磁石の磁場特性をそろ
直径の両端に位置する二つのバンチに分けて入射され、逆向	えるため、L方向のB50の測定データを基にして、平均的な特
きに30GeVまで加速されて電子リング上にある四つの実験	性をもつグループとその上下のグループの3グループに分
室で衝突させる。	け,鉄板打抜き後に平均から外れたグループ間で自動シャフ
電磁石の磁極間隙には電子ビームを通すアルミニウム製の	リング装置を用いてシャフリングを実施した。
超高真空チェンバーが取り付けられ,四つの衝突実験室の両	打抜き鉄板の精度は磁極部及び積層基準面は±0.02mm以

トリスタン計画の概要とその電磁石 793



表2 偏向電磁石パラメータ 入射蓄積リング用及び電子リング用偏向電磁石の機械的,電磁気的,熱的パラメータを示す。

	項目	電子リング用	入射蓄積リング用
	員数	264	56
	磁極間距離(mm)	70	60
1414	鉄 心 長 さ(mm)	5,860	2 imesI,290
1752	鉄 心 重 量(t)	8.9	6.7
械	コ イ ル 重 量(t)	1.2	0.6
65	鉄 心 断 面 寸 法(mm ²)	467×450	560×600
ну	コイル導体断面寸法(mm ²)	28×21-¢12	17×24-¢12
	コイルターン数(ターン/磁極)	10	16
	エ ネ ル ギ ー(GeV)	30~42	6 ~ 8
1	最大電流(A)	١,664	1,805
電磁気的・熱的	最 大 磁 場(T)	0.57	1.15
	電 気 抵 抗(mΩ)	14.3	14.1
	インダクタンス(mH)	13	18.7
ну	冷却水流量(<i>l</i> /min)	20	14.3
	冷却水回路数	2	2

積層後鉄心側面に側板を当て,別に設けられた加圧装置に より,側板を介して鉄心を拘束状態にして変形を防止しなが ら側板と鉄板の溶接を実施した。溶接の脚長は溶接による変

管【料】【工】

図2 偏向電磁石の製作ステップ 偏向電磁石各要素部品の製作から 完成までの製作ステップを示す。

内,その他はすべて±0.05mm以内とした。打抜きはコイル状 鉄板をプレスにより自動連続で打ち抜き,規定枚数ごとに寸 法管理を実施した。

入射蓄積リング用及び電子リング用各偏向電磁石鉄板の打 抜き寸法を,それぞれ図3,4に示す。鉄板の積層は水平方 式の積層治具を用いて行なった。治具には積層ガイドを設け, 鉄板基準面がガイドに密着するようにそろえながら積層し た。積層の途中で数段階に分けて最適の面圧で仮締付けを行 ない,鉄板板厚の系統的偏差による積厚偏差は,その傾向に よって適当な間隔でライナ調整を行ない積厚が四隅で一定に なるようにした。 形を抑えるための最小限の寸法とし,自動溶接で実施した。 モデル試作で溶接順序と変形量の関係を求め,最小の変形に 抑えられる溶接順序を開発し,製品に採用した。

積層治具には積層作業中及び作業完了後に寸法管理ができ るように専用の寸法測定器を設け、各ステップで寸法測定を 実施した。鉄心の出来上がり精度は、磁極間隙寸法及び鉄心 のねじれを含めて、規定寸法に対し±0.05mm以下にすること ができた。

3.2 コイル

コイル導体の材質は無酸素銅とし,直接水冷却方式のため 冷却孔をもつ中空角形導体とした。コイルの導体の配列はパ ンケーキ構造とし,入射蓄積リング用偏向電磁石コイルは2 段重ね8層巻きの計16ターン,電子リング用偏向電磁石コイ ルは2段重ね5層巻きの10ターンから成る。各コイルとも導 体の無接続可能長さの制限から,コイル内で接続の必要があ





図3 入射蓄積リング用偏向電磁石鉄板寸法図 入射蓄積リング用 偏向電磁石鉄板の打抜き寸法を示す。打抜き精度は磁極部で±0.02mmである。 図4 電子リング用偏向電磁石鉄板寸法図 電子リング用偏向電磁 石鉄板の打抜き寸法を示す。打抜き精度は磁極部で±0.02mmである。

9

794 日立評論 VOL. 66 No. 11(1984-11)

る。導体接続部は銀ろう付方式を採用し、同一導体サンプル による接続部の機械的特性、耐圧リークテスト、X線撮影な どを実施し、接続部の特性を把握すると同時に最適作業条件 を決定し、量産に適用した。また、最小曲げ部の屈曲部につ いても曲げ試作を実施し、冷却孔の極度の変形やき裂が生じ ないことを確認した。

巻線作業は接続作業,洗浄,巻線の一連の作業が連続的に 行なえる専用の巻線ラインを用いて実施した。

絶縁は10⁹radの吸収線量に対し,実用上差し支えない耐放 射線性の高い絶縁を選定する必要がある。耐放射線に強い絶 縁材料として実績のあるエポキシセミキュアガラステープ,エ ポキシセミキュアガラスマイカを主体とした絶縁構造とした²⁾。

絶縁作業は自動テーピングマシンを用い,成型のための加 熱は自動加熱装置により実施した。

コイル絶縁の健全性を確認するため,層間短絡テスト,絶 縁抵抗試験,耐電圧テストを実施した。耐電圧テストは入射 蓄積リング用コイルについてはAC5,000V1分間,電子リン グ用コイルについてはAC3,200V1分間印加した。

各コイルには据付け後冷却水母管から並列に冷却水が供給 されるため、冷却系統の圧力降下のばらつきが問題となるた め、耐水圧テストのほか、流量測定、圧力降下測定を全コイ ルについて行ない、品質信頼性を確認した。

3.4 架台,ほか

各電磁石はリングトンネル内で±0.1mm以内の精度で据え 付けられる。このため、架台には3軸方向の微調整機構を設 け、上下、左右、前後に調整できるものとした。

また電磁石鉄心の上面には、精密据付のための測量用の基準面を設け、±0.01mmの精度で加工した。

入射蓄積リング用偏向電磁石の外観を図5に、電子リング 用偏向電磁石の外観を図6に示す。

4 四極電磁石

入射蓄積リング用四極電磁石(Q_A, Q_B)のパラメータを表3 に,電子リング用四極電磁石(Q_A, Q_B, Q_c)のパラメータを表 4に示す。

四極電磁石は主として四極鉄心,コイル,架台から成っている。鉄心は上下に簡単に分割できる構造になっている。

四極電磁石の製作ステップを図7に示す。

4.1 鉄 心

鉄心構造はコイルの組込み上,上下,左右の4分割とし, 分割合わせ目にセッティングのためのキー溝を設け,4個の 鉄心を高精度に組立てできるようにした。



3.3 配線, 配管

コイルの端末には、電気用端子と冷却水用端子を設ける必 要がある。電気用端子はコイルの端末に平角銅バーを銀ろう 付けで取り付けた。上下コイルを接続する配線、及び電源と 接続される取合い端子までの配線も平角銅バーを用い、容易 に解体できるようにボルト締結方式を採用した。一方、冷却 用端子はコイル導体の先端に銀ろう付けで取り付け、絶縁ホ ースの端末金具とねじ込みで接続できる構造とした。絶縁ホ ースの材質は耐放射線性と電気絶縁性を考慮してエチレンプ ロピレンゴムを採用した。偏向電磁石の下部には給排水マニホ ールドを設け、絶縁ホースを経由してコイルに冷却水を供給 できるものとし、単位電磁石当たり2回路並列となっている。 給排水マニホールドにはコイル導体側に異物混入を防ぐため のストレーナ,及び冷却水が規定流量以下で警報信号を出す ための流量スイッチを設けている。冷却水は高抵抗の純水を 使用するため、マニホールドなどの冷却水配管の材質は、イ オン化傾向の比較的小さいステンレスを採用した。



図6 電子リング用偏向電磁石の外観 主として,鉄心,コイル,架 台から成っている。全長約6mの電磁石である。

表3 入射蓄積リング用四極電磁石パラメータ 入射蓄積リング用 四極電磁石の機械的,電磁気的,熱的パラメータを示す。

	項	目	QA	Qв
	員	数	78	8
	ボア	径(mm)	80	120
Lake	鉄 心	長(mm)	500	1,100
筬	鉄 心 重	量(t)	1.1	5.6
械	コイル重	量(t)	0.12	0.48
的	鉄心断面寸	法(mm ²)	506×506	800×800
	コイル導体断面	⊦法(mm²)	4× 8-¢6	I5×20-ø9
	コイルターン	数(ターン/磁極)	10	17
	電	流(A)	١,340	1,340
電	磁場こう	配(T/m)	20	15
磁気的・熱的	電気抵	抗(mΩ)	6.2	18.5
	インダクタン	ス(mH)	5.8	13.3
	冷却水流	量(<i>l</i> /min)	5.3	13.6
	冷却水回路	数	2	4

図 5 入射蓄積リング用偏向電磁石の外観 主として鉄心, コイル, 架台から成っている。鉄心は長手方向に2分割されている。

10

石の機械的, 電磁気的, 熱的パラメータを示す。 項 目 QA Qв Qc 数 員 240 128 8 径(mm) ボ ア 100 100 120 さ(mm) 長 鉄 心 800 1,000 1,500 重 量(t) i 3.8 4.7 6.9 鉄 イル重 量(t) 械 0.44 \square 0.51 0.6 鉄心断面寸法(mm²) 780×780 780×780 780×780 的 コイル導体断面寸法(mm²) $20 \times 15 - \phi7$ 20×15-ø7 20×15-ø9 コイルターン数(ターン/磁極) 17 17 17 流(A) 電 1,205 1,500 1,205 電磁気的 場こう 配(T/m) 磁 23 20 20 雷 気 抵 $抗(m\Omega)$ 14.0 16.2 22 インダクタンス(mH) 18.2 10.1 11.6 熱 的 冷却水流量(*l*/min) 9.5 11.0 25 冷却水回路数 4 4 4

電子リング用四極電磁

電子リング用四極電磁石パラメータ

表 4

鉄心用の鉄板は川崎製鉄株式会社製RM23*D(けい素鋼 板)を使用した。鉄板の圧延方向(L方向)と直角方向(C方向) を合成した磁気特性として、磁化力5,000A/mでの磁束密度 (B_{50}) の標準値を規定し、そのばらつきの許容値($\pm \Delta B$)を制 限した。磁場特性をそろえるためのシャフリング方法につい ては, 偏向電磁石と同様に材料の特性により3グループに分 け、それぞれシャフリングを実施した。更に四極電磁石では、 材質が無方向性とはいえ, 圧延方向に打ち抜いたものと直角 方向に打ち抜いたものでは,磁気特性が異なるため,圧延方 向と直角方向と同時に2枚ダブルに打ち抜き、それぞれ1枚 ごとにシャフリングを行なう方式を採用した。シャフリング 作業は、自動シャフリング装置を使用して行なった。



入射蓄積リング用及び電子リング用各四極電磁石(Q_A)鉄 板の打抜き寸法をそれぞれ図8,9に示す。打抜き精度は磁 極部及び4分割合わせ面は ± 0.02 mm以内, その他は ± 0.05 mm 以内とした。打抜き方法, 寸法管理方法については基本的に は偏向電磁石と同じである。



四極電磁石各要素部品の製作から 完成までの製作ステップを示す。

鉄板の積層は偏向電磁石と同様に水平方式とし、専用積層 治具を用いて行なった。積層の基準は分割合わせ面とし,積 層方向の面圧及び厚さ偏差調整方法は,偏向電磁石と同様に 行なった。

側板を押すための加圧装置,側板と鉄板の溶接を行なうた めの自動溶接機、各作業ステップごとに寸法管理を行なうた めの寸法測定器などは、すべて四極電磁石専用の積層治具に 付属させておき,一連の作業ステップが連続的に行なえるよ うにした。4個の鉄心を組み合わせた後の磁極間隙寸法は、







電子リング用四極

11

図8 入射蓄積リング用四極電磁石鉄板(Q_A)寸法図 電子リング用四極電磁石鉄板(Q_A)寸法図 入射蓄積リ × 9 ング用四極電磁石鉄板(QA)の打抜き寸法を示す。打抜き精度は,磁極部で±0.02 電磁石鉄板(QA)の打抜き寸法を示す。打抜き精度は磁極部で±0.02mmである。 mmである。



図10 入射蓄積リング用四極電磁石(Q_A)の外観 主として四極鉄心, コイル、架台から成っている。上下2分割が容易な構造となっている。



図|| 電子リング用四極電磁石(Q_A)の外観 主として四極鉄心,コ イル、架台から成っている。上下2分割が容易な構造となっている。

鉄心のねじれを含めて規定寸法に対し±0.05mm以下にするこ とができた。

4.2 コイル

コイル用導体,絶縁方式は,基本的には偏向電磁石用コイ ルと同様の方式で実施したが、コイルの形状がくら形構造で あるため、巻線型は水平軸と垂直軸の2軸回転をもつ専用の 巻線治具を開発し巻線した。

耐電圧テストは入射蓄積リング用コイルはAC2,000V,電 子リング用コイルはAC2,400Vそれぞれ1分間印加させ、コ イルの健全性を確認した。

4.3 配線, 配管

コイル間同士の接続配線はコイルと同様の中空導体を用 い、直接水冷却方式とした。接続配線は保守点検の容易さを 考慮して、ねじ込みで接続できる構造とした。電源と接続さ れる取合い端子は、 偏向電磁石と同様に平角銅バーを用い、 外部配線とボルト締付で接続できる構造とした。

冷却方式は基本的には偏向電磁石と同様の方式を採用して おり、給排水マニホールド、絶縁ホース、ストレーナ、流量 スイッチから構成されている。冷却回路は単位電磁石当たり 2回路又は4回路並列となっている。

4.4 架台,ほか

各電磁石は偏向電磁石と同様,リングトンネル内に±0.1mm 以内の精度で据え付けられるため,架台には3軸方向の微調 整機構を設け,上下,左右,前後に調整できるものとした。

また電磁石鉄心の上面には、精密据付のための測量用の基 準面を2箇所設け、±0.01mmの精度で加工した。

鉄心については各製作ステップごとに寸法管理値を定め, 実測値と比較し、またコイル単品については寸法測定のほか、 ターン間短絡テスト,絶縁抵抗試験,耐電圧試験,抵抗測定 などを実施し、部品としての品質管理の徹底を図った。

各電磁石完成後、次のような試験、検査を行ない要求性能 を十分満たしていることを確認した。

(1) 外観, 寸法検査

(2) 絶縁抵抗測定

(3) 耐電圧試験

(4) コイル抵抗測定

(5) インダクタンス測定

(6) 冷却水圧力降下測定

(7) 冷却系統耐圧力試験

6 結 言

衝突型加速器としては世界最大級の規模をもつトリスタン 計画は、現在文部省高エネルギー物理学研究所で昭和61年完 成を目指して, 鋭意建設が進められている。各電磁石も工場 完成し, 文部省高エネルギー物理学研究所での単体性能テス トも順調に進み、高性能の結果を得ている。

入射蓄積リングは予定どおり完成しており、今後電子リン グが完成し、運転が開始されることにより文字どおり世界的 な素粒子研究を可能にし, 高エネルギー物理学に関する広範 な学問分野の研究だけでなく, 産業技術全般への波及効果も 期待される。

終わりに,本計画の電磁石製作に当たり御指導と御協力を 入射蓄積リング用四極電磁石(Q_A)の外観を図10に、電子リ いただいた関係各位に対し、厚く謝意を表わす次第である。 ング用四極電磁石(Q_A)の外観を図11に示す。

5 試験,検査

12

各電磁石を構成する部品は製作ステップごとに品質管理を 行ない、問題がないことを確認してから次工程に進んだ。

参考文献

1) 文部省高エネルギー物理学研究所要覧(昭和58年度) 2) 安芸,外:核融合装置と加速器用コイルの電気絶縁の現状,日 立評論, 63, 7, 481~486(昭56-7)