

## 論文の内容の要旨

論文題目 The Research and Development of High Power C-band  
RF Pulse Compression System using Thermally Stable High-Q Cavity  
(温度安定型高Q空洞を用いた大電力Cバンド  
マイクロ波パルス圧縮システムの研究開発)

氏名 吉田 光宏

電子陽電子衝突型加速器は高エネルギー物理学において精密測定という重要な役割を担ってきた。電子陽電子加速器としては、CERN の LEP-II が世界最大の加速器である。LEP-II は重心系エネルギー 200GeV に達し電子陽電子加速器ならではの精密実験を筆頭とした実験により様々な成果を得てきたが、標準模型の最も重要なメカニズムであるヒッグス粒子の発見・測定を行なうにはエネルギー、ルミノシティ共に不十分であった。しかし LEP-II のような円形のシンクロトロン加速器では加速電子からのシンクロトロン放射が非常に大きくなり、これ以上のエネルギーの加速器建設は現実的ではない。

一方電子線形加速器を用いた加速器では、重心系エネルギー 500GeV~1TeV 程度の加速器建設の可能性が見込まれる。日本では将来計画として GLC (Global Linear Collider) の建設のための開発研究が精力的に行なわれている。このような電子陽電子リニアコライダーでは主線形加速器(GLC では 20km)が建設のほとんどを占め、到達可能な重心系エネルギーを決定する事になる。GLC で予定されている 500GeV~1TeV の重心系エネルギーを得るためには、この主線形加速器は数十 MV/m という高電界で電子加速を行なう。このため、現時点では高周波加速方式が最も現実的である。

近年の精密物理実験の成果により、軽いヒッグス粒子の存在の可能性などから、300~500 GeV の比較的低いエネルギーで実験を開始した方が良いという物理上の要請がある。そして実験の早期開始のため、実用化の目処の立ち易いCバンド(5712MHz)電子線形加速器への期待が高まっている。GLC をターゲットとして新たに開発しているCバンド線形電子加速

器システムの基本的設計はSバンド線形加速器を踏襲しており、従来技術の延長で安定な運転が見込まれるが、Sバンドに比べ効率が高く、容易に高電界が得られる。ただしこのような高電界のCバンド線形電子加速器は世界でも初めての試みであり、各種の百 MW 級のハイパワーに対応した各種のデバイスの開発が必要である。また GLC での高ルミノシティーを得るためにマルチバンチ運転を行うため、加速管やマイクロ波パルスコンプレッサーを大幅に改善する必要がある。

本論文は、このCバンド線形加速器ユニット用の大電力マイクロ波パルスコンプレッサーの研究開発について記述されている。

電子陽電子リニアコライダーでは高いルミノシティーを得る必要があるため、電子はマルチバンチで加速する必要がある。このためCバンド線形加速器ユニット用のマイクロ波パルスコンプレッサーは、ビームローディングを考慮したやや後上がりのパルス波形を出力する必要がある。Cバンド周波数では導波管遅延回路を用いた圧縮は巨大になり現実的でない。それに比べディスクローディッド構造による結合空洞を用いた遅延回路は装置も小型で、効率も70%程度が得られる。Cバンド線形加速器ユニットとしては、3セル結合空洞を用いたパルスコンプレッサーを採用している。パルスコンプレッサーのマイクロ波蓄積空洞は数 $\mu$ s という長い時間マイクロ波を蓄積する必要があるため、高いQ値が要求される。このパルスコンプレッサーは、蓄積空洞である第一空洞と第三空洞が  $TE_{01,15}$  モードで、またその2つの空洞を結合する結合空洞を  $TE_{01,5}$  モードで励振するように設計されており、それぞれ19万及び9万のQ値を持つ。

本論文では、このような3セル結合空洞型のマイクロ波パルスコンプレッサーの理論的考察及びシミュレーション方法を確立した後、研究開発要素である加速ゲインの向上、モード変換純度の改善、高Q空洞の周波数安定化の開発研究、数百 MW 出力対応のハイパワーモデルの製造とその大電力試験及び大電力試験に必要な各種デバイスの開発について述べる。

加速ゲインの改善としては、3セル結合空洞型パルスコンプレッサーを最適化すると共に、クライストロンの出力パルスの立ち上がり部分を位相補償により活用する方法を確立した。また導波管からパルスコンプレッサーのマイクロ波の蓄積モードである  $TE_{01}$  モードへのモード変換における純度の改善に関しては、電磁シミュレーションコードの精度の向上を計り、従来以上の精度で最適な構造寸法を決定できるようになった。

またマイクロ波パルスコンプレッサーは常伝導の加速器コンポーネントの中で最も高いQ値の空洞で構成され、今回設計したパルスコンプレッサーのマイクロ波蓄積空洞は従来の2倍のQ値である20万という値を持つ。このような非常に高いQ値を持つ空洞は、空洞の寸法変化に非常に敏感であり、銅で製造した場合0.1℃程度の温度制御が必要になる。運転時の発熱などを考慮すると、このような温度制御は非常に難しい。このような問題を解決するため、極低熱膨張材であるスーパーインバーを空洞の母材として用いて、従来の銅製空洞に比べ周波数変化を大幅に抑えた温度安定型空洞の研究・開発を行なった。

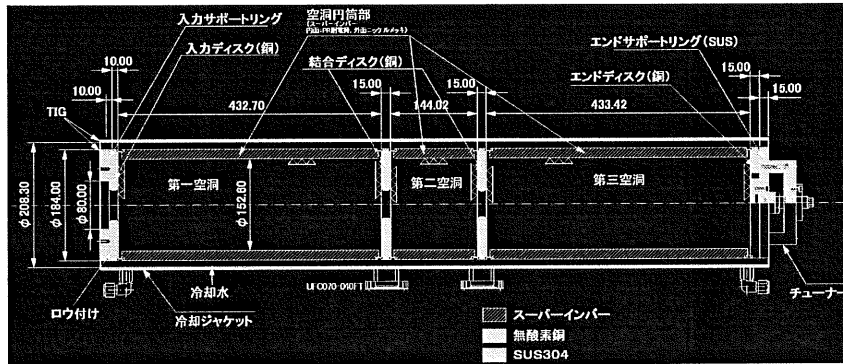


図 1 : マイクロ波パルスコンプレッサー

スーパーインバーという特殊素材を用いた空洞の製造は世界でも初めての試みであり、製造工程についても様々な評価を行なった。特に空洞の内側に銅壁を形成する方法としてPR銅電鍍法及びHIP法を利用したテスト空洞を製造し評価した。そして開発した周波数安定化空洞を用いたパルスコンプレッサーの大電力モデルの製造を行なった。図1は開発した温度安定型空洞を用いたパルスコンプレッサーの断面構造を示したものである。製造した温度安定型パルスコンプレッサーは、通常の銅製空洞と比べ共振周波数の温度依存性を1/7という測定結果が得られ、非常に温度変化に対して安定である。

さらにパルスコンプレッサーの大電力試験を行う上で、基本的な導波管コンポーネントである3dBハイブリッドと、装置全体を小型化するため減衰器の設計・開発を行なった。3dBハイブリッドは、従来のボタンによる調整を無くし単純化した物を開発した。また減衰器は周期構造型の構造で群速度を落とし、全てステンレス製であるが、1台(全長500mm)あたり-3dBの減衰になるように設計を行なった。図2は製造した減衰器の断面図である。

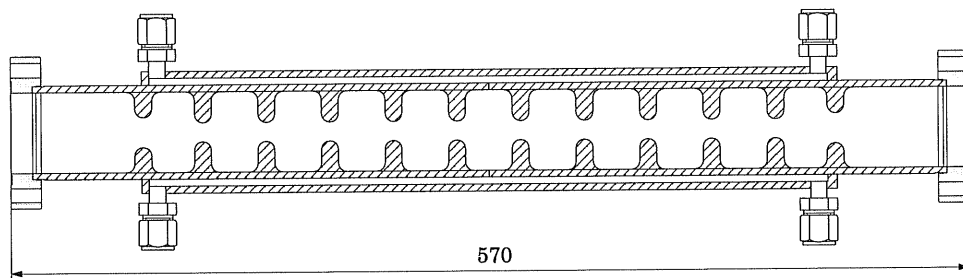


図 2 : 減衰器の断面図

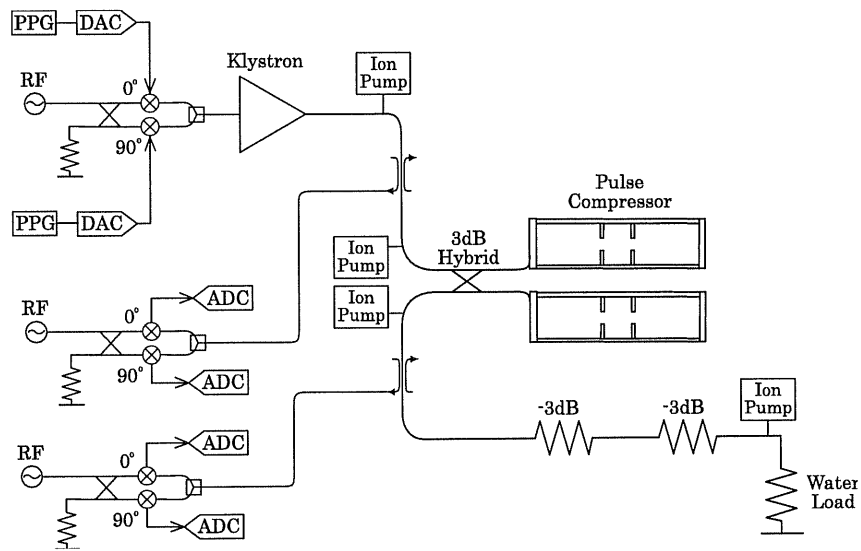


図 3 : 大電力試験のブロック図

開発したパルスコンプレッサー及び、導波管コンポーネントを組み立て、50 MW の C バンドクライストロンを用いて大電力試験を行なった。図 3 に大電力試験のブロック図を、また図 4 に実験装置の写真を示した。この大電力試験で入力 45 MW、 $2.5 \mu s$  に対して、出力 135 MW、 $0.5 \mu s$  を 50 pps で安定に出力する事に成功した。

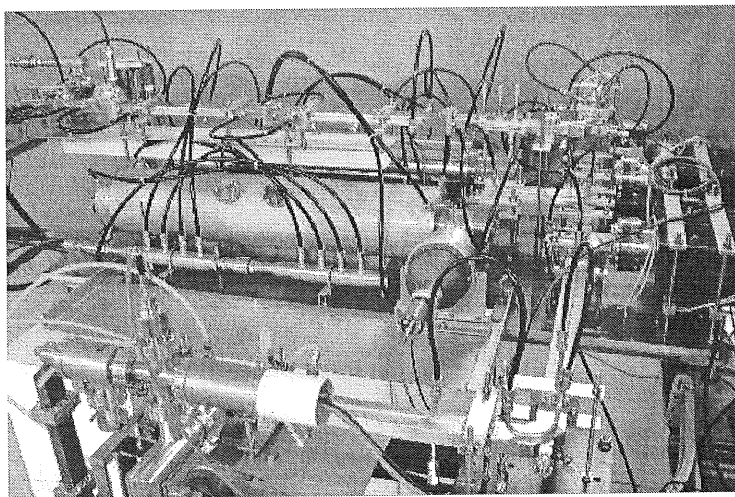


図 4 : 大電力試験装置

また開発した温度安定型マイクロ波空洞の技術は、他の温度安定な空洞が必要な機器に応用できると共に、さらに高い Q 値の空洞を安定に運転できる可能性が見込める。