

委託業務成果報告書

(平成21年度)

「超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発」

(新フォトカソード開発及び高周波超伝導空洞用入力カップラーの開発)

国立大学法人東京大学

平成22年5月21日

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、国立大学法人東京大学が実施した平成21年度「超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発」(新フォトカソード開発及び高周波超伝導空洞用入力カップラーの開発)の成果を取りまとめたものである。

「超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発」
(新フォトカソード開発及び高周波超伝導空洞用入力カプラーの開発)

目 次

	頁
1. 委託業務の目的	1
2. 平成21年度(報告年度)の実施内容	1
2.1 実施計画	1
2.1.1 新フォトカソード開発	1
2.1.2 高周波超伝導空洞用入力カプラーのためのセラミック	1
2.2 実施内容(成果)	2
2.2.1 新フォトカソード開発	2
2.2.1.1 本研究の背景	2
2.2.1.2 高周波電子銃の熱問題	2
2.2.1.3 新端板設計	3
2.2.1.4 新端板を用いたビーム発生実験	4
2.2.1.5 Na ₂ KSb フォトカソード	5
2.2.1.6 Na ₂ KSb の寿命測定	5
2.2.1.7 可視光・紫外光における、飽和電荷量測定	6
2.2.1.8 平成22年度の予定	7
2.2.2 高周波超伝導空洞用入力カプラーのためのセラミック窓の開発	8
2.2.2.1 開発目標	8
2.2.2.2 cold 窓の改良	8
2.2.2.3 cold 窓の液体窒素温度冷却テスト	10
2.2.2.4 真空条件下での 20kW 大電力試験	11
2.2.2.5 まとめ	12
2.2.3 今後の展開	13
2.2.4 参考文献	14
2.3 成果の外部への発表	15
2.4 活動(運営委員会等の活動等)	17
2.5 実施体制	17

1. 委託業務の目的

超伝導高周波加速器技術とレーザーパルス蓄積技術の融合によって、ポストゲノム時代の生命科学研究、ナノ構造解析、創薬、医療診断、マイクロソグラフィへの利用を画期的に飛躍させる軟 X 線から硬 X 線領域の小型高輝度 X 線発生装置(10m×6m 程度)を実現する。本装置実現のために、高品質大強度電子ビーム生成装置、大強度・高電界超伝導高周波加速装置、高品質短パルス大強度レーザー蓄積装置、ミクロン精度での電子ビーム軌道制御技術及び、レーザー光路精密調整といった技術の実用化を図る。よって、超伝導高周波加速器技術を使った 5 nm～0.025 nm 波長領域の小型高輝度 X 線発生装置の開発とその実用化に必要な基幹技術の確立を行うことを目的とする。

このため、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、国立大学法人東京大学、独立行政法人日本原子力研究開発機構、国立大学法人広島大学、早稲田大学、東芝電子管デバイス株式会社及び株式会社日立ハイテクノロジーズと共同で業務を行う。

国立大学法人東京大学では、小型高輝度光子ビーム源装置の新フォトカソード開発及び高周波超伝導空洞用入力カプラーの開発を実施する。

2. 平成21年度の実施内容

2.1 実施計画

2.1.1 新フォトカソード開発

前年度は高周波電子銃で動作できる高効率高寿命カソード開発用の、カートリッジ交換システムの開発を行い、高周波電子銃内でマルチアルカリカソードの試験を行った。紫外光での駆動であるが、最大1%の量子効率と1ヶ月以上の動作確認を行った。マルチアルカリカソードは酸素や水分に弱いので、本年度はどの程度の酸素分圧で劣化・脆化するかの特性試験を詳細に行い、カソード劣化のメカニズムを解明する。従来フォトカソードは赤外光から紫外光に変換して、その光を受光して電子を発生するが、紫外光では変換効率に伴う装置増大化によるリミット、かつ不安定性の増大などが見込まれる。そこで駆動レーザーはより安定した可視光を用いる。解明したメカニズムを元に長寿命マルチアルカリカソードの設計を行い、試作品を作成、量子効率試験や寿命試験などを詳細に行う。

2.1.2 高周波超伝導空洞用入力カプラーのためのセラミック窓の開発

前年度は、常温でセラミック窓の大電力試験を行って20kWまでパワーを投入した結果、2種類のセラミック窓の1つ(cold窓)で急激な温度上昇が見られた。そこで今年度はその原因を究明してcold窓の設計を修正し、試作を行う。また、その後に前年度製作した断熱槽内で内導体にヒーターを設置してそのセラミック窓の熱評価を行う。cold窓はクライオモジュールへの入熱を抑えるために液体窒素にて80Kで冷却して使用される。そのため、断熱槽内に窒素溜めを用意し、それによりセラミック窓を冷却して試験を行う。さらに、室温部に設置されるもう1種類のセラミック窓(warm窓)2つを連結して真空中で大電力試験を行う。

2.2 実施内容

2.2.1 新フォトカソード開発

2.2.1.1 本研究の背景

フォトカソード高周波(RF)電子銃は、高周波を空洞に印加することにより、陰極表面に約100[MV/m]程度の高電場を印加することにより、電子源から放出された電子を速やかに相対論的領域まで加速することができる。これによって、サブピコ秒からフェムト秒の超短パルスかつ低エミッタンスの電子ビーム発生が可能である。

フォトカソードRF電子銃は、駆動レーザーを共振空洞内のカソード面に入射して光電子を発生させ、それを高周波電場(RF)で加速して電子ビームを発生させる。

フォトカソード励起用のレーザーとして、本研究施設では、0.3[TW]のチタンサファイアレーザー(基本波800[nm])の3倍高調波(266[nm],4.6[eV])を用いてきたが、3倍高調波への変換効率は、本施設では約2%程度であり、レーザーを含めたシステムの安定化・小型化の観点から、可視光領域である2倍高調波で駆動するようなフォトカソードの開発が求められる。また、本プロジェクトにおける電子源の第一候補はGaAsであるが、高周波電子銃において長時間運転可能なカソードを目指し、上坂班ではアンチモンベースのカソードの開発を行う。

そこで、本研究では、可視光レーザーで駆動できる可能性のあるNa₂KSbに注目し、高周波電子銃におけるビーム試験を行う。試験に際し、フォトカソード交換システム導入以来生じていた、入力高周波パワーに対する反射波の乱れが生じていた。熱解析を通じて、新端板を設計・製作し、電子銃にインストールを行った。最初に電子銃における電磁熱問題について報告する。その後、Na₂KSbの可視光及び紫外光におけるビーム特性試験の結果について報告する。

2.2.1.2 高周波電子銃の熱問題

Na₂KSbカソードは高周波電子銃のような、開放系の高周波場における使用例が無い。そのため、高周波電子銃における挙動を確かめるため、特性試験を行う必要がある。しかし18-Lにおいて、半導体カソードを使用するためのカートリッジ式交換システム導入以後、以下のような問題点が生じている。

- 1、高周波の反射波が0にならない・・・蓄積電力量が約50%
- 2、加速管後のエネルギーが設計値 22 MeVより低い20.8MeVである・・・高周波電子銃の電場が約 70 %
- 3、電荷量の飽和(レーザーパワーを増やしても電荷量が増えない)が3.1nCと低い

この問題は高周波印加時、空洞内に流れる壁電流によって生じるジュール熱が原因と予測できる。従って、高周波電子銃の熱計算を行い(図1-1)、冷却系の再構築を行う。

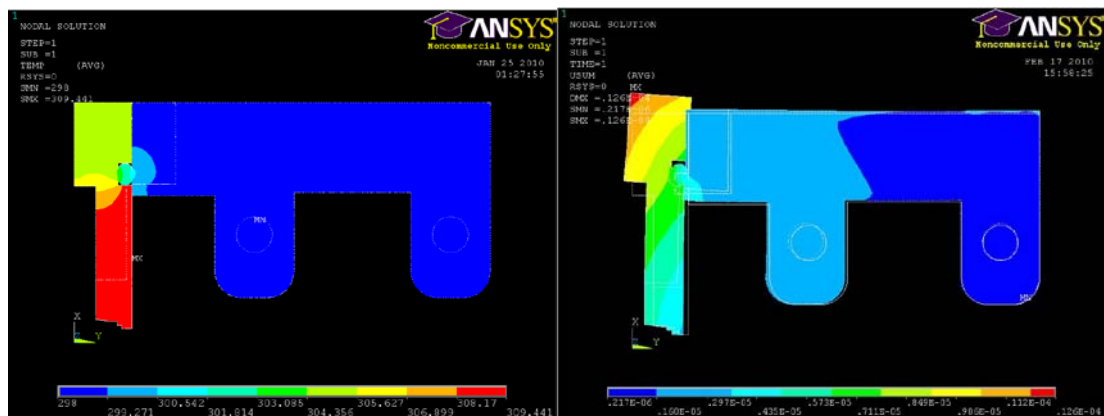


図 1-1 高周波電子銃の熱計算 左:温度分布、右:熱膨張分布

図1-1から分かるように、端板部分の温度上昇が大きく(11.421度)端板部分に冷却部が必要となることがわかる。また、高周波印加による温度上昇が原因で、空洞容積が大きくなり、共振周波数に156KHzのずれが生じている。現在18LのQ値は8500であるため、共振周波数の半値半幅は165KHzである。従って、空洞内の蓄積電力が52%、空洞内電場強度が72%になってしまっている。

2.2.1.3 新端板設計

カートリッジ式交換システムを導入する際に端板を作成の際、交換システム接続部、および高周波電子銃空洞接続部に強い負荷がかかるため、全体的にSUSが多くなるよう設計された。しかし、SUSは銅に比べ熱伝導率が小さいため、新端板に追加する冷却管の効果を十分に得るためには、全体的に銅の割合が多くなるように設計する必要がある。図1-2に設計した新端板の概念図を示した。全体的に銅の割合を増やしたことで、冷却管を端板の外壁に通す単純な形で十分な冷却効果が期待できる。

図1-3に新端板の熱計算の結果を載せる。端板部分の温度上昇が3.536度と従来の端板に比べ1/3に抑えられている。また、熱膨張による共振周波数のずれも31KHzに抑えられ、空洞内の蓄積電力は97%、空洞内電場は98%とほぼ規定値に近い値が得られた。

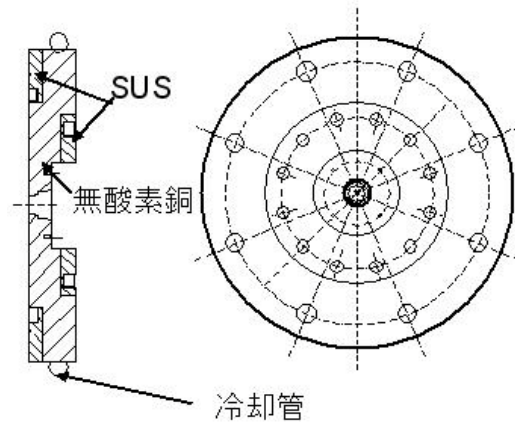


図 1-2 新端板概念図

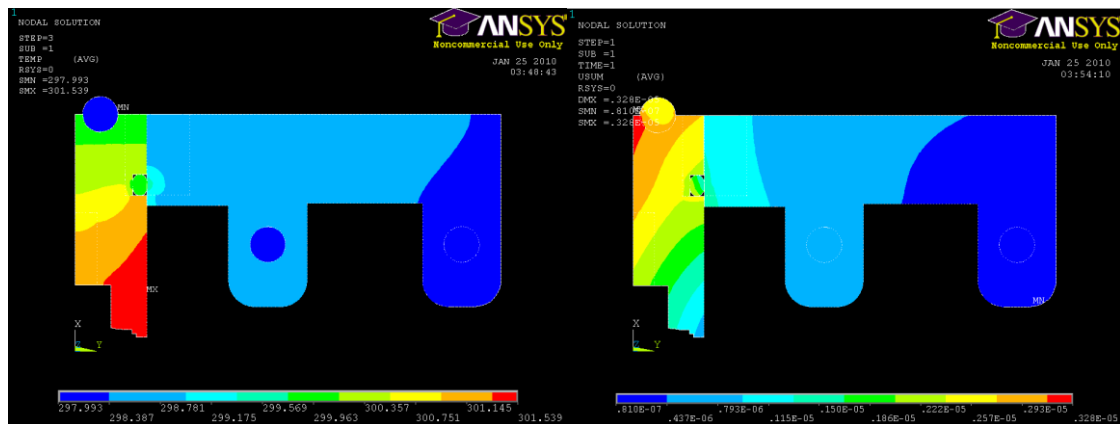


図 1-3 新端板を用いた高周波電子銃の熱計算 左:温度分布、右:熱膨張分布

2.2.1.4 新端板を用いたビーム発生実験

図1-4は端板の違いによる反射波の比較である。新端板では、反射波が0近くまで減少しており、空洞内に十分電力が蓄積されていることが分かる。また、測定された電子ビームが22MeV付近であったこともその事実を表している

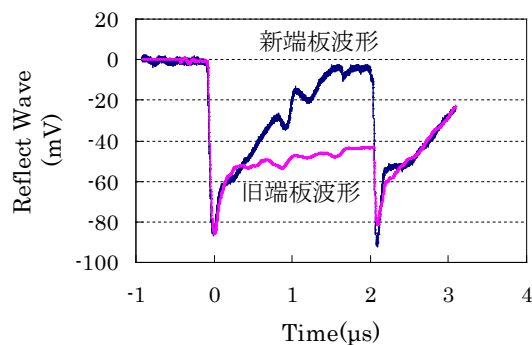


図 1-4 新端板を用いた高周波電子銃の反射波形 青:新端板波形、赤:旧端板波形

2.2.1.5 Na₂KSb フォトカソード

Na₂KSbは半導体光陰極の一種であり、光電子増倍管などの光電面に用いられている。ギャップエネルギーが1.0[eV]、価電子帯と真空順位の差(電子親和力)が1.0[eV]で、実効的な仕事関数は2.0[eV]と、金属系光陰極やCs-Te光陰極と比べて非常に低いのが特徴であり、Ti;Saレーザーの2倍高調波(400[nm],3.1[eV])でも駆動できる。オフラインの試験において500[nm]帯の入射光に対して10%以上の高い量子効率を有することが報告されている6)。

2.2.1.6 Na₂KSbの寿命測定

18Lにおいては、光電効果による電子発生用の励起レーザーとして0.3[TW]のTi;Saレーザー(800[nm]:1.4[eV])を用いている。従来の光陰極から電子を取り出すには3倍高調波(266[nm]:4.6[eV])に波長を変換する必要がある、その変換効率は約2%で、レーザーの大型化や不安定化を招いている。そこで、レーザーの安定化と小型化という観点から、可視光領域である2倍高調波(400[nm]:3.1[eV])で動作できるようなフォトカソードの実用化が望まれている。その1つの候補がNa₂KSbでありNa₂KSb電子を真空中に引き出すために必要なエネルギーは2.0eVからTi;Saレーザーの2倍高調波でも駆動できる。また、Csを用いないことにより、Csの蒸発による量子効率の劣化がなく、超時間の動作が期待できる。今回は、レーザーのセットアップ上の都合から、266nmにおけるNa₂KSbの寿命測定を行った。その結果を図1-5に示す。

カソードの劣化についてはRFによる酸化皮膜の増大、表面形状の変化及び半導体膜構成元素の脱離等が考えられ、光学顕微鏡による表面観察などにより分析を行なう必要がある。

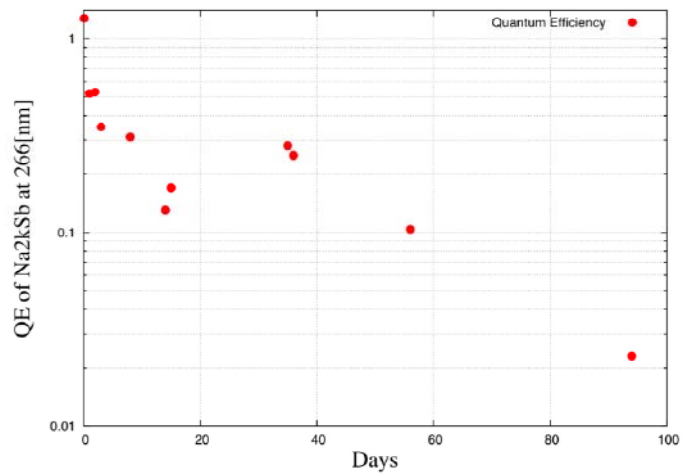


図1-5 約3ヶ月にわたる量子効率の時間変化

電子銃周りの真空系は140[L/s]のイオンポンプと3台の400[L/s]NEGポンプからなるが、RF印可時のイオンポンプの真空度は 1.2×10^{-9} [Torr]、端板後方の真空度は 2.5×10^{-8} [Torr]であった。光陰極交換直後の量子効率として、約1.2%を得た。また、0.1%の量子効率で約2ヶ月の動作を確認した。

2.2.1.7 可視光・紫外光における、飽和電荷量測定

フォトカソードの劣化の主な要因としては、放電による陰極表面の損傷と、真空中の残留ガスの陰極への表面吸着が考えられる。そこで、真空度の向上を図るために、電子銃まわりに、40[L/s]のイオンポンプを増設し、コンダクタンスが悪く、真空への負荷が大きかったカソード交換機構の部分を、独立で引ける様にした。また、3つあるゲッターポンプの再活性化も行った結果、端板裏において、常時 2×10^{-9} [Torr]以下の真空度を確認し、時には 9×10^{-10} [Torr]に到達することもあった。

ポンプ増設の後、新しくカソードプラグを交換し、カソード挿入から約22時間後に、ビーム試験を行った。紫外光(266[nm])及び可視光(400[nm])レーザーを用いて、レーザーパワーを変化させ、電子銃出口での電荷量を測定した。その結果を図1-6に示す。

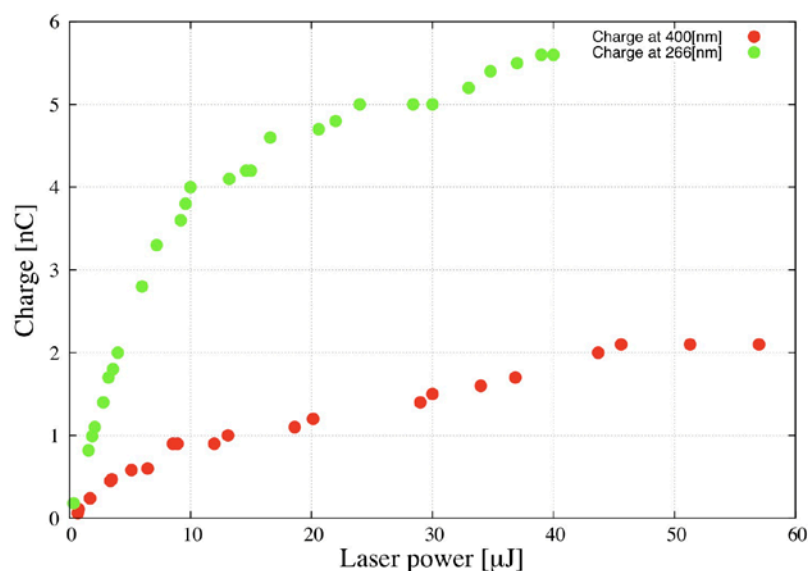


図1-6 Na₂KSbの電荷量測定。赤点が可視光を、緑点が紫外光による結果を示す。

可視光による電荷量として2.1 [nC]を、紫外光による電荷量として5.5[nC]を確認した。正味の量子効率として、紫外光において0.23[%]、可視光において0.062[%]を得た。しかし電子銃からとりだせる、最大の電荷量(飽和電荷量)の励起波長による依存性がみられる。電子銃の共振空洞における加速電場強度は約100[MV/m]程度であり、電子銃として、少なくとも5.5[nC]の電子バンチを電子銃出口まで輸送できるのであるが、可視光による電子励起においては、紫外光より低い飽和電荷量となっている。これは、可視光による駆動において、電子発生に対するなんらかの制限が加わっていることを示している。

2.2.1.8 平成22年度の予定

高周波電子銃において、Na₂KSbが可視光において駆動できることは確認できたが、紫外光に比べて、引き出せる電荷量が低いことも明らかになった。可視光レーザーに対して、紫外光と遜色ない電子発生を目指すために、陰極表面の劣化の主原因を探るため、平成21年度に引き続き酸素や水素分圧に対する応答を検討し、劣化のメカニズムを調べる必要がある。現在、原子力機構所有のMBE装置の立ち上げを行っており、ヒーターアセンブリの導入も完了した。来年度は、原機構ERLグループと共同で、高周波電子銃において駆動可能なアンチモンベースのフォトカソード開発を行う予定である。

2.2.2 高周波超伝導空洞用入力カプラーのためのセラミック窓の開発

2.2.2.1 はじめに

本研究は1.3GHz CW型超伝導空洞用入力カプラーの開発を目的とする。前年度には、CW型超伝導空洞はエネルギーを回収するものとし、加速勾配20MV/m運転時に $Q_L=2 \times 10^7$ 、最大入力パワー20kWを基本仕様とする入力カプラーを設計した。また、入力カプラーで重要なコンポーネントである2種類のセラミック窓(cold窓とwarm窓)とベローズを試作し、テストスタンドを構築して大電力試験を行った。空冷によるベローズの温度上昇の抑制は概ね良好であったが、セラミック窓の1つであるcold窓で急激な温度上昇が見られ、結果的にcold窓のセラミックが割れることとなった(図2-1参照)。その後、窓単体での詳細なローレベル測定を行い、セラミック窓の構造に起因する1.305GHzの吸収ピークが存在すること、そしてそのピークが温度上昇により1.3GHzに近づいてくることが判明した(図2-2参照)。今年度は、その原因究明を行った後、cold窓の設計を修正し、新たに改良cold窓を製作・試験した。また、前年度製作した断熱槽内でcold窓の液体窒素温度下における冷却試験を行った。さらに真空状態でwarm窓を用いた大電力試験を行い、warm窓での2次電子放出などの測定を試みた。

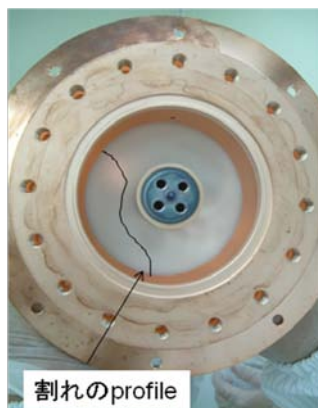


図 2-1 大電力試験後の割れた cold 窓。

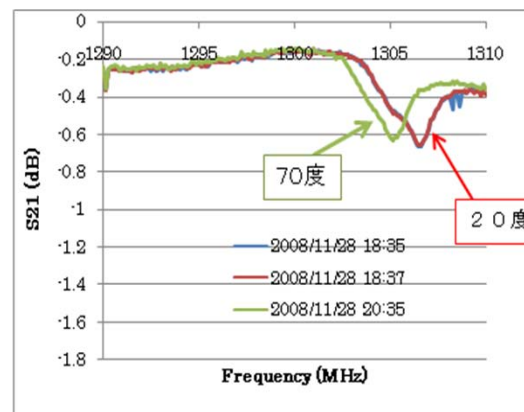


図 2-2 温度に対する S21 の変化。1.305GHz 付近に共鳴ピークが見られる。

2.2.2.2 cold 窓の改良

前年度の大電力試験後の cold 窓のローレベル測定で、1.3GHz 付近に共鳴ピークが存在することが判明した。今年度はまず、HFSS および MW-Studio によるこの cold 窓の詳細な高周波シミュレーションを行った。図 2-3 がその計算結果である。1.3GHz 付近にダイポールモードの共鳴ピークがあることが分かった。Q 値はおよそ 1×10^4 程度であり、ローレベル測定の結果に見られたピークに近いものであった。

この共鳴ピークはセラミック窓の誘電率、厚み、及び内導体、外導体の半径に依存することが分

かった。このピークがローレベル測定で見られる共鳴ピークである可能性が高いため、これらの依存パラメータの中で変えることが可能なセラミック窓の厚みに対して、この共鳴周波数の依存性を計算で求めた。図 2-4 が、計算で求めたセラミック窓の共鳴周波数とセラミック窓の厚みとの関係である。計算では厚みを 1mm 小さくすることでおおよそ 39MHz 変化することが分かった。そこで改良 cold 窓のセラミック厚を前の設計値 6.2mm よりも 0.8mm 小さい 5.4mm とし、30MHz 程度周波数を上げる設計とした。図 2-5 が実際に製作した改良 cold 窓である。セラミック窓を薄くしたことによる機械的な影響は見つからず、真空リークもなかった。改良 cold 窓の S-parameter を測定した結果を旧 cold 窓の測定結果と比較して図 2-6 に示す。HFSS の計算による周波数の変化が+31.2MHz に対し、周波数測定のピークの変化が+30.0MHz となり、ほぼ設計通りにピークがずれていることが確認できた。

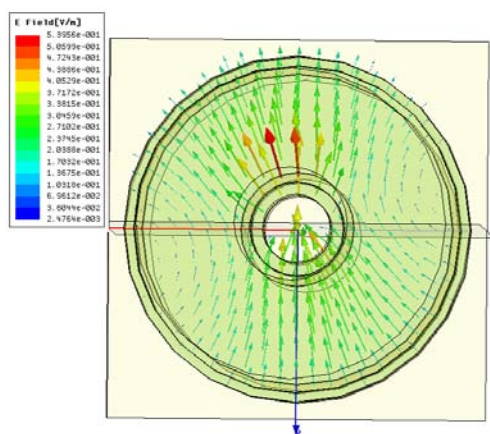


図 2-3 セラミック窓に立つダイポールモード(計算)。

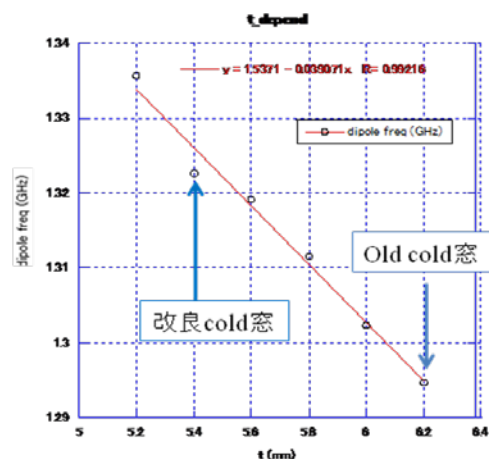


図 2-4 セラミック窓の共鳴周波数とセラミック窓厚との関係(計算)。



図 2-5 改良 cold 窓(写真)。

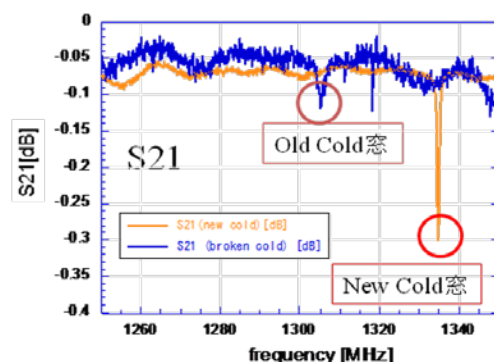


図 2-6 改良前後の cold 窓のローレベル測定結果。

2.2.2.3 cold 窓の液体窒素温度冷却テスト

2K 温度の空洞への入熱を減らすべくカプラーの cold 窓は液体窒素温度である 80K の温度定点に接続される。cold 部の内導体等での発熱をそこから吸収する必要がある。特に内導体からの発熱は投入パワー10kW の定在波の状況下では、30W 程度の発熱が80K の温度定点に集中すると予想される。この発熱を cold 窓を通じて 80K の温度定点から吸収することになるが、発熱を設計通りに吸収できるかが一つの課題である。今年度は前年度製作した断熱槽を用いて、液体窒素冷却時におけるセラミック窓の入熱が設計通りであるかを確認した。

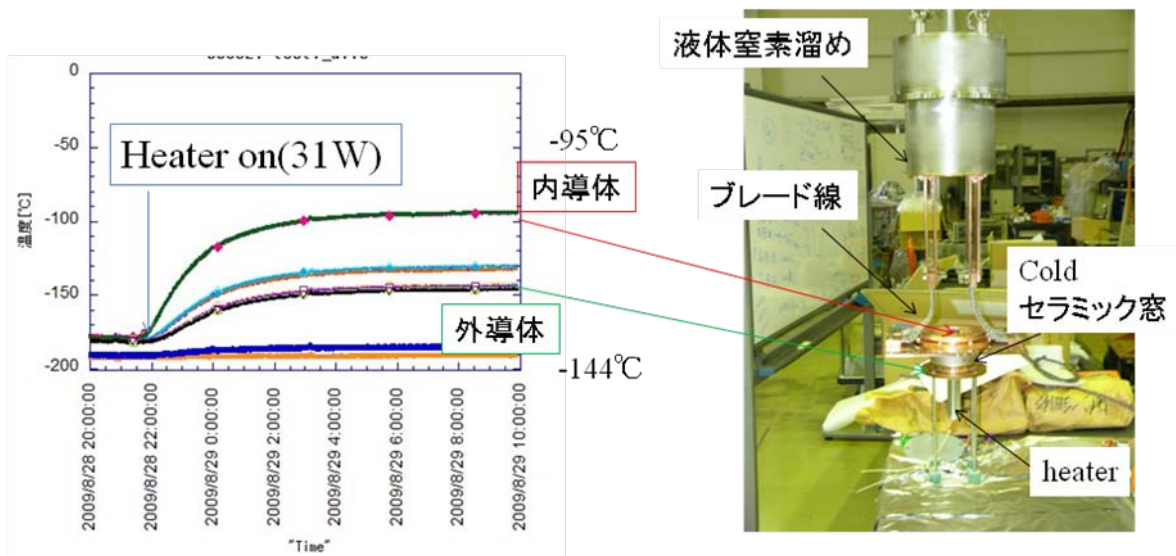


図 2-7 断熱槽に入れる前の冷却試験のセットアップ(右図)と液体窒素冷却時にヒーターを発熱させた時の温度上昇を示したグラフ(左図)。

図 2-7(右図)が冷却試験のためのセットアップである。断熱槽内につるされた液体窒素溜めからブレード線を通じてセラミック窓を窒素温度まで冷却する。パワー投入時の発熱を模擬するため、内導体にはヒーターが取り付けられている。内導体、セラミック窓外部(外導体)の温度、ブレード線の温度、および液体窒素溜めの温度は熱電対により測定される。図 2-7(左グラフ)は、一旦セラミック窓を断熱槽内にて液体窒素温度まで冷却した後に、ヒーターで 31W のパワーを入れたときの温度上昇を示している。横軸は時間軸であるが、ヒーターにパワー投入後10時間程度でおよそ平衡状態になっている。cold 窓外部が本来 80K の温度定点を模擬するのであるが、今回はブレード線の長さなどによって温度定点が発熱時に温度上昇し、内導体は -95°C(178K)、外導体は -144°C(129K)の温度となった。この測定された内外導体の温度差と熱計算の結果を表 2-1 に示す。計算ではセラミック材であるアルミナ(Al_2O_3)の熱伝導度として常温での値 31W/m/K を使用した。

表 2-1 31W 投入時の内外導体の温度差

	内外導体の温度差
測定値	46.9℃
計算値	41.2℃

測定の温度差が計算値よりも1割ほど温度上昇が大きいものの、およそ計算と良い一致を示していることが表 2-1 から分かる。この結果から、セラミック材の熱伝導度は液体窒素温度時でもほぼ同じと考えられ、セラミック窓から内導体の発熱を吸収するという設計は大きな問題はないことが確認された。今後、クライオモジュールに組み込む際に適切なブレード線の長さや個数を考慮し、カプラー設計に反映する予定である。

2.2.2.4 真空条件下での 20kW 大電力試験

前年度の大電力試験は真空条件下で行っていなかったため、今年度は割れずに残った warm 窓に端板をつけて、その間を真空にして定在波にて大電力試験を行った。

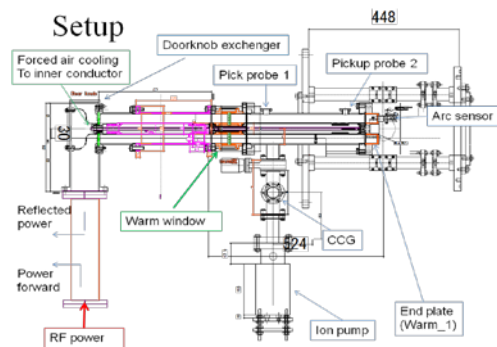


図 2-8 warm 窓大電力試験のセットアップ (図 2-9 のように warm 窓から端板までの距離を変えて電場および磁場の分布を計算し、電場および磁場が warm 窓でピークになるように端板の距離を決めた。電場ピークが立つ端板と磁場ピークが立つ端板の2種類を用意し、それぞれの条件下で大電力試験を行った。まず磁場ピークが warm 窓に立つときの大電力試験を行った。図 2-10 がその時のパワー投入の履歴である。最初、投入パワー14.5kW までは放電や真空度悪化によるインターロックは作動しなかったが、14.5kW で放電用アークセンサー(セラミック窓を直視している光センサ)が反応した。その後は、9kW 前後でも頻繁にアークセンサーによるインターロックが作動するとともに、それに伴う電子放出がセラミック窓近傍のプロープから検出された。これはセラミック窓上での2次電子放出が原因と予想される。この状態がしばらく続いた後に大きな真空度悪化によるイン

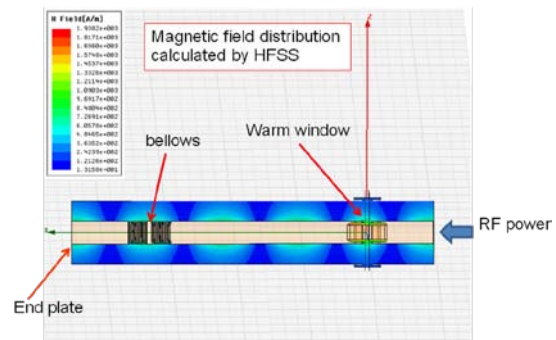


図 2-9 定在波の磁場ピークがセラミック窓に立つ時の計算結果(HFSS)。

図 2-8 は大電力試験のセットアップである。図 2-9 のように warm 窓から端板までの距離を変えて電場および磁場の分布を計算し、電場および磁場が warm 窓でピークになるように端板の距離を決めた。電場ピークが立つ端板と磁場ピークが立つ端板の2種類を用意し、それぞれの条件下で大電力試験を行った。まず磁場ピークが warm 窓に立つときの大電力試験を行った。図 2-10 がその時のパワー投入の履歴である。最初、投入パワー14.5kW までは放電や真空度悪化によるインターロックは作動しなかったが、14.5kW で放電用アークセンサー(セラミック窓を直視している光センサ)が反応した。その後は、9kW 前後でも頻繁にアークセンサーによるインターロックが作動するとともに、それに伴う電子放出がセラミック窓近傍のプロープから検出された。これはセラミック窓上での2次電子放出が原因と予想される。この状態がしばらく続いた後に大きな真空度悪化によるイン

ターロックが作動したが、その後は徐々に投入パワーを上げることができた。15kW で同じくアークセンサーによるインターロックの発生が頻発したが、大きな真空度悪化によるインターロックが働いた後には投入パワーを上げることができ、最終的に20kW までのパワーが投入できた。大電力試験後にベローズとセラミック窓を観察したが、特に大きな割れやメッキの剥がれなどなかった。放電プロセスを経た後には、磁場ピークで 20kW までの大電力に対して warm 窓は問題なく動作することが分かった。

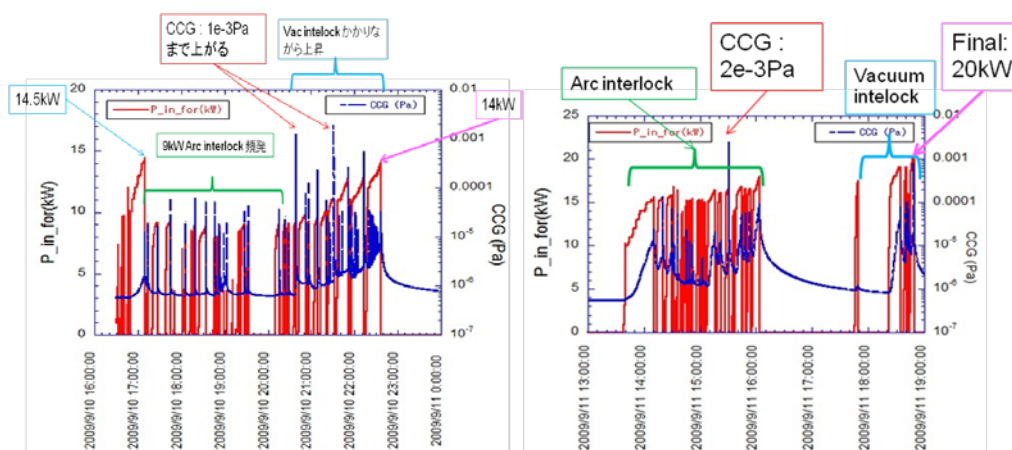


図 2-10 大電力試験で磁場ピークを warm 窓に立たせた時のパワー投入履歴。左図：9kW-15kW までの履歴。右図：15kW-20kW までの履歴。赤は投入パワー(第一軸)を示し、青は真空度(第二軸)を示している。

次に電場ピークでの大電力試験を行ったが、4kW パワー投入後に真空が大きく漏れ、最終的に warm 窓が割れる結果となった。これは、図2-1に示したものと同様にダイポールモードの共鳴ピークによる急激な発熱による割れであると考えられる。cold 窓同様に warm 窓のセラミック厚を変更することでこの発熱や割れを回避することができる。電場ピークによる放電レベルの測定は改良 cold 窓による大電力試験にて行う予定である。

2.2.2.5 まとめ

前年度の大電力試験における cold 窓の急激な発熱と割れは、予期せぬ共鳴ピークによるもので、その周波数はセラミック窓に立つダイポールモードの周波数とほぼ一致することが詳細な高周波シミュレーションによってわかった。この共鳴ピークの周波数を1.3GHzから遠ざけるために、セラミック窓の厚みを6.2mmから5.4mmに変更し、31MHzだけ共鳴周波数をずらした改良 cold 窓を製作した。この改良 cold 窓のローレベル測定を行ったところ、旧 cold 窓と改良 cold 窓の周波数は設計通りに約30MHz周波数がずれていることが確認された。また、断熱槽を用いた cold 窓の液体窒素温度での冷却試験を行い、温度分布の測定値が概ね計算と一致する結果を得た。これにより熱設計に大きな問題がないことが確認できた。さらに、warm 窓を用いて真空下の大電力試験を行った。

定在波の磁場ピークをwarm窓に立てた状態では、9kWと15kW付近で2次電子放出によると思われる発光が頻発したものの、その後は20kWまでパワーを投入することができた。それに対し、電場ピークでは4kW付近で真空リークと同時に急激な温度上昇が起こり、セラミックの割れが起こった。これは、前年度のcold窓のセラミックの割れと同じく、投入した1.3GHz高周波が共鳴ピークに当たってセラミック窓の発熱で割れたものと予測される。

2.2.3 今後の展開

今後は、共鳴ピークをずらした改良cold窓にて電場ピークを立てた場合の大電力試験を行い、高周波設計の確認を行うことになる。また、高周波設計と熱設計の方針を決定し、実機カプラーの設計・製作を行う。

2.2.4 参考文献

- [1] M. Uesaka et al., Radi. Phys. Chem, 60 (2001)
- [2] Y. Muroya et al., Nucl. Instr. Meth. A, 489 (2002)
- [3] H. Iijima, et al., Proc. 2002 EPAC 1771-1773
- [4] A. Sakumi, et al., Proc. 2005 PAC 3079-3081
- [5] J. Sasabe et al., Nucl. Instr. Meth. A, 528 (2004)
- [6] H. Dewa et al., Proc. of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2003
- [7] A. Sakumi, et al, Particle Accelerator Conference(PAC) 2007, proceedings, 2787 (2007).
- [8] M. Liepe, et. al, Nucl. Instr. Meth. A557, p354-369 (2006).
- [9] 加古永治,他:「STFベースライン超伝導空洞用大電力高周波入力結合器」,第3回加速器学会
プロシーディング, p136-138 (2006).
- [10] 沢村勝:「IOT高周波出力特性」,第3回加速器学会プロシーディング, p832-834 (2006).

2.3 成果の外部への発表

別表-1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果(発表題目、口頭、ポスターの別)	発表者氏名	発表した場所(学会等名)	発表した時期	国内外の別
Commissioning of NaKSb photocathode RF gun in S-band LINAC at the University of Tokyo (ポスター)	K.Miyoshi, K.Kambe, A.Sakumi, T.Ueda, Y.Muroya, M.Uesaka	Particle Accelerator Conference 2009 (PAC09)	2009.5/3	国外
東京大学におけるNa2KSb 光陰極高周波電子銃の可視光駆動試験 (ポスター)	三好邦博、神戸浩多、作美明、上田徹、上坂充	第 6 回日本加速器学会年会 2009	2009.8/5	国内
Development of input power coupler for ERL main linac in Japan (ポスター)	H.Sakai, T. Furuya, S. Sakanaka, T. Takahashi, K. Umemori, A. Ishii, N. Nakamura, K. Shinoe, M. Sawamura	14th International Conference on RF Superconductivity(SRF09), Berlin, Germany	2009.09	国外
Development of 20kW input power coupler for 1.3GHz ERL main linac (ポスター)	H. Sakai, K. Umemori, S. Sakanaka, T. Takahashi, T. Furuya, K. Shinoe, A. Ishii, N. Nakamura, M. Sawamura	第6回日本加速器学会年会、東海村	2009.08	国内
ERL 主ライナック入力カプラー開発 (ポスター)	阪井寛志、石井篤、梅森健成、坂中章悟、沢村勝、篠江憲治、高橋毅、中村典雄、古屋貴章	第23回日本放射光学会年会、姫路	2010.01	国内

別表-2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文(発表題目)	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌等名)	発表した時期	国内・外の別

2.4 活動(運営委員会等の活動等)

・なし

2.5 実施体制

別表-3 平成21年度に於ける実施体制

研 究 項 目	担当機関等	研究担当者
(1)新フォトカソード開発及び高周波超伝導空洞用入力カプラーの開発	東京大学大学院工学系研究科原子力専攻	◎上坂 充
①新フォトカソード開発	東京大学大学院工学系研究科原子力専攻	○上坂 充 作美 明 上田 徹 神戸 浩多 三好 邦博 増田 紘俊
②高周波超伝導空洞用入力カプラーのためのセラミック窓の開発	東京大学 物性研究所	○中村典雄 阪井寛志 高木宏之 篠江憲治 渋谷孝 工藤博文 伊藤功 石井篤