

CONFINEMENT OF MICROWAVE IN RF EQUIPMENT OF J-PARC LINAC

Etsuji Chishiro^{1,A)}, Tetsuya Kobayashi^{A)}, Hiroyuki Suzuki^{A)}, Masayoshi Yamazaki^{A)}, Toshihiko Hori^{A)}
Zhigao Fang^{B)}, Yuji Fukui^{B)}, Masato Kawamura^{B)}, Seiya Yamaguchi^{B)}, Shozo Anami^{B)}

^{A)} Japan Atomic Energy Agency J-PARC Center

2-4 Shirakata-Shirane, Toukai, Ibaraki, 319-1195

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

High power RF sources have been installed in J-PARC linac building. These facilities are defined as the microwave application equipment by the Radio law, and are needed the charge minister's permission to offer the service. To pass the regulation, we sought the microwave leakage point using a search coil and a bilog antenna, and stopped up the leak by contacting the metal connection completely. The result of measuring the microwave at J-PARC site boundary, we confirmed the field strength which is less than the permissible level.

J-PARC リニアック棟の漏洩電波対策

1. はじめに

大強度陽子加速器施設(J-PARC)のリニアック棟には、324MHzで動作する高周波源が、定格出力3MWのクライストロンで20式、大電力(30kWおよび10kW)半導体増幅器で4式設置される^[1]。これらの高周波源は、25Hzでパルス運転され、総発生電力の瞬間値は20MWを上回る。この大電力高周波は、立体回路を経て加速器に供給されるが、一部の電力は接続部などから漏洩する。漏洩電波は、機器のノイズ源となるほか、人体や周辺の電磁環境に悪影響を及ぼす。従って、高周波源からの不要輻射を極力抑制することが必要である。

電波に関する法規によると、出力50W以上の高周波を利用した設備を稼働させる場合、総務大臣の許可が必要となり^[2]、許可申請時に他の通信に妨害を与えないことを示さなければならない^[3]。このため、漏洩電波の電界強度の許容値が定められており、本設備の場合、JAEA原子力科学研究所の敷地境界において100 μ V/m以下としなければならない^[4]。

また、総務省では人体の安全と電波利用設備の運用との間の適切な調和を図るため電波防護指針が策定されている^[5]。この指針によると、リニアック建屋内における漏洩電波の最大電界強度は、機器から20cm以上離れた場所で63.7V/m以下、また人体作用等に着目した補助指針では電波の電力密度は20mW/cm²以下(6分間平均)に定められている。

ここでは、J-PARCリニアック棟で行った漏洩電波対策とその測定結果について報告する。

2. 測定方法

2.1 測定器の構成

電波の漏洩箇所を探索し、電波の電界強度を測定するのに2種類のアンテナを使用した。漏洩箇所の探索には、小面積のループアンテナ(ループ径=12mm)とオシロスコープを使用した。当初、指向性アンテナ(3素子八木アンテナ)を用いて漏洩箇所の探索を試みたが、鉄骨や制御ラックなどの金属体による電波の多重反射のため、あらゆる方向で電波を検出し漏洩箇所の特定には不向きであった。そこで感度の低いループアンテナを導波管フランジ部などに接近させ、接続部周回を擦るようにアンテナを動かし漏洩箇所を探索した。この方法により局所的な漏洩場所、例えばダミー負荷で使用されている同軸管WX-203Dの場合、12本のボルトで固定されているフランジのうち1本の締め付けが弱く、この弱い部分からの電波漏洩を探索することができた。

電波の電界強度の測定では、アンテナは広帯域特性(30MHz~3GHz)を有するバイログアンテナ(SCHAFFNER社製、型番:CBL6143)を、受信機にはスペクトラム・アナライザ(ヒューレットパッ

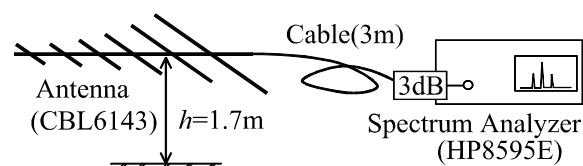


図1 漏洩電波電界強度測定器の構成

¹ E-mail: etsuji.chishiro@j-parc.jp

カード社製、型番：8595E)を使用した。図1に測定器の構成を示す。スペクトラム・アナライザ(SPA)の入力には3dBのアッテネータを接続し、SPA・アンテナ間の多重反射を防止した。またアンテナの高さは、地上(床面)から1.7mとした。

SPAの分解能帯域幅は、バックグラウンド・ノイズが低くなるよう10kHzとした。また、リニアック棟内での測定では高周波出力と同期したトリガ信号により掃引(掃引速度80ms)を行い、トリガが得られない敷地境界での測定では、掃引時間を遅くして(内部トリガ、掃引時間20秒)測定を行った。このためSPAのバックグラウンド・レベルが高くなり、測定限界が40 μ V/mとなった。

表1は、基本周波数(324MHz)およびその2次、3次高調波に対するアンテナ係数とケーブル損失(ATT分を含む)を示す。漏洩電波電界強度(dB μ V/m)は、測定値(dBm)にアンテナ係数、ケーブル損失および電力から電圧への換算値:106.9を加算して算出した。

2.2 SPAのパルス応答特性

我々は、他の通信に妨害を与えないためにパルス状(25Hz、650 μ s)に放射される電波のピーク値が許容値を下回るように基準を設けた。また、監督官庁から高周波源の運転開始後できるだけ早期に電波測定を行うよう要請があった。一方、高周波のパルス出力は、空洞のコンディショニングとともにピーク値とパルス幅が増し、フルデュティで運転を行うには相当の時間を要した。そこで、我々は、コンディショニング途中の短パルス幅(ピーク値は加速器運転時に相当する出力)でも電波測定を行えるようSPAのパルス特性を測定した。

パルス応答特性評価は、発振器(S.G:周波数:324MHz)の出力をRFスイッチ(立上り/立下り時間:1 μ s以下)により25Hzの矩形波に形成し、スイッチのゲート幅を変化させ行った。図2は、横軸にゲートパルス幅、縦軸にSPA及びパワーメータ(PM)の測定値を示す。PMの値は、ゲートをオン状態に

表1 漏洩電波電界強度算出時の各定数

周波数 (MHz)	324	648	972
アンテナ係数 (dB/m)	13.7	18.6	20.8
ケーブル損失 (dB)	3.32	3.51	3.69

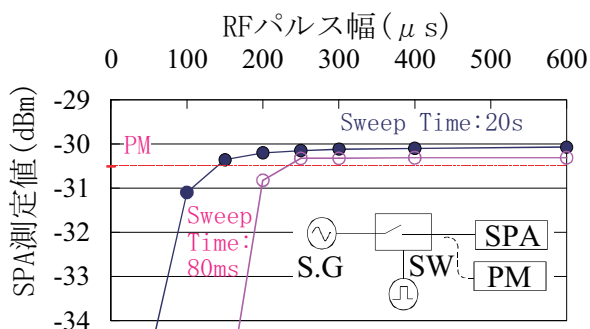


図2 スペ・アナ(HP8595E)のパルス応答特性

保った連続波(CW)での値である。図中、実丸は、SPAの掃引時間が20s、白丸が80msに設定したときの結果である。両方の掃引条件でパルス幅が250 μ s以下になると、検出値が低くなり正確な測定が出来ないことが判明した。よって、敷地境界での漏洩電波は、コンディショニングが進み、300 μ s以上のパルス幅で運転を行っている状態で測定した。

3. 漏洩電波対策

3.1 立体回路路フランジ接続部

ループアンテナを用いて導波管と同軸管のフランジ部からの漏洩箇所を探索したところ幾つかの同軸ダミー負荷(15台程度)のフランジ部から漏洩を検出した。この漏洩は、ボルト締結部の締め付けが弱かったためであり、増し締めを施すことにより漏洩が止まった。

3.2 同軸ダミー負荷

リニアック棟の高周波源には40式同軸ダミー負荷が設置されており、その全ての負荷から電波漏洩があり、負荷から1m離れた点での最大電界強度は、0.1V/mであった。図3はダミー負荷の電波漏洩箇所であるボルトを示す。漏洩原因は、このボルトの内軸側に冷却水シールのOリングがあり、このOリングが完全に潰れず、リングとボルト間にあるコンタクト部が完全に接触していなかったため、ボルトに高周波電流が流れ、また、フランジ外面には、厚膜塗装が施されており、ボルトの頭部はフランジと金属接触しておらず、ここから電波が輻射していた。フランジ塗装を剥離し、ボルト頭部と金属接触化させることにより、漏洩を20dB以上低減した。



図3 同軸ダミー負荷からの電波漏洩箇所

3.3 同軸管接続部

リニアック棟の立体回路の一部は同軸管(WX-120D、77D)が使用されている。ギャラリーでの同軸管の接続は、コスト削減や敷設の平易性を考慮してストレート・カップリング²が使用されている。図4は、同軸管接続部からの漏洩電波探索の様子を示す。同軸管外導体は、スリ割円筒金具とホースバンドで固定されているが、接続部の隙間より電波が

² <http://www.nikoha.co.jp/catalogue/coax73.pdf>

漏洩していた。対策は、低出力(10kW、30kW)の同軸管の場合、スリ割円筒金具とホースバンドの間に銅板(厚さ0.2mm)を巻きつけて漏洩電波を低減(3~10dB程度)した。大電力(190kW)の同軸管の場合、直接、外導体の隙間を銅テープで塞ぎ、その上から低出力の場合と同様な対策を施した。このときの低減量は、20dB程度であった。



図4 同軸管(120D)接続部からの電波漏洩

3.4 同軸型高調波フィルターと半導体増幅器

リニアック棟に設置された大電力半導体増幅器は、放送局用に量産されている機種をベースに開発されており、4式の増幅器は、その出力に応じて半導体増幅ユニット (PAユニット) をスタックしている。

本体策において、半導体増幅器での漏洩電波が最も多く、30kW増幅器の筐体から3m離れた場所での電界強度は0.14V/mであった。ループアンテナで主な漏洩場所を探索すると、増幅器内部に設置された同軸型高調波フィルターのフランジや筐体接続部からの漏洩が大きかった。前項の機器と同様に本フィルターも接触部の塗膜を剥離し、確実な金属接触を図ることにより、フィルター単体での漏洩量を20dB程度低減した。

一方、フィルターの漏洩対策を施した後、30kW増幅器からの漏洩量を測定すると、同じ場所でも0.08V/mであり、電界強度で半分程度しか減少していなかった。漏洩箇所を探索すると、フィルターより弱いながらPAユニットの到る所で漏洩電波が観測された。これは、PAユニット内部のトランジスタ基板 (ストリップ線路) からの電波漏洩と考えら

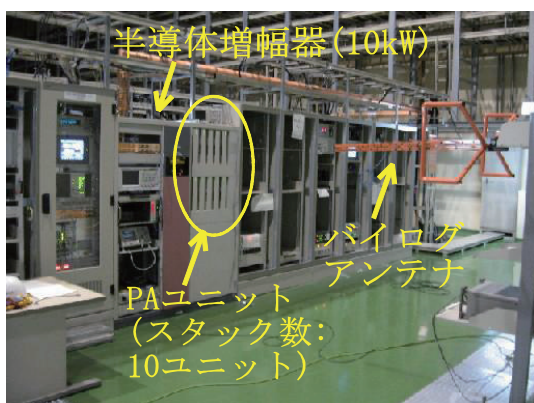


図5 半導体増幅器の電界強度測定

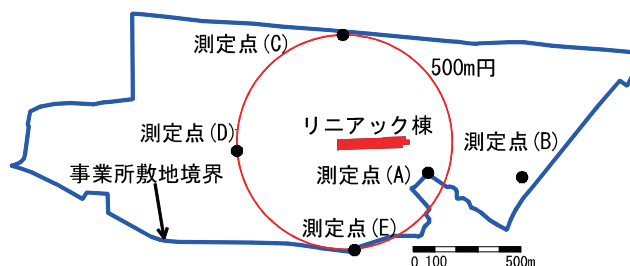


図6 事業所敷地境界における漏洩電波測定点
れ、これを低減するためにはユニットを改造するか筐体全体を遮蔽するかが必要であり、大掛かりな対策が必要となる。現状では、次項で示すように敷地境界での漏洩電波強度が許容値を下回っているため対策を施していない。

4. 敷地境界での漏洩電波測定

リニアック棟は、原子力科学研究所のほぼ中央に位置し、敷地境界までの距離は、東西で約500m、南北に1,000m前後である(図6参照)。漏洩電波測定はリニアック棟から最も近い境界(A点)およびリニアック棟を中心とした4方向(B点からE点)で行った。測定の結果、A点で324MHzの漏洩電波を検出することができ、その電界強度は、アンテナを水平にしたときで48 μ V/m、垂直にしたときで77 μ V/mであり、法規で定める許容値を下回っていた。A点での高調波成分は、SPAのバックグラウンドレベル以下で観測することができなかった。また、他の測定点では324MHzのピークもノイズレベル以下であり、許容値を下回っていることを確認した。

リニアック棟内で最も電波強度が強いのは半導体増幅器(30kW)筐体面で、その電波強度は、数V/mであった(Dutyを考慮した平均電力で1 μ W/cm²以下)。この値は指針に示す上限より低く、通話中の携帯電話から発する電波の強度と同程度であった。

5. まとめ

リニアック棟の高周波源からの電波漏洩箇所を探索し、導体同士を確実に金属接触化するなどの対策を施し漏洩量を低減した。敷地境界での漏洩電波を測定した結果、漏洩源からの隔離距離が十分に確保できたため電波が減衰し、許容値以下であることを確認した。

参考文献

- [1] "The Joint Project for High-Intensity Proton Accelerator", KEK Report 99-4 and JAERI-Tech 99-056, (1999)
- [2] 電波法施行規則 第45条
- [3] 電波法 第1条の2、第100条
- [4] 無線設備規則 65条の3
- [5] 総務省 諮問第38号 「電波利用における人体の防護指針」 1990.6