



Title	産研ライナックを利用した超電導磁石材料のパルス電子線照射
Author(s)	大脇, 成裕; 片桐, 一宗
Citation	大阪大学低温センターだより. 1983, 43, p. 5-8
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/12165
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

産研ライナックを利用した超電導磁石 材料のパルス電子線照射

産研 大脇成裕、片桐一宗、岡田東一
(吹田 3490)

1. はじめに

核融合炉や加速器に使用されようとしている大型超電導磁石は、各種線質の放射線照射下で運転される。この場合、磁石の放射線損傷の問題は二つに大別することができる。第一は、パルス状又はバースト状放射線によって超電導状態が局所で破壊され、短い緩和時間後、元の超電導状態に回復するか、又は巨視的スケールの破壊に発展するかという短時間の過渡的現象を取扱う問題である。第二の問題は、超電導線材、安定化材、及び磁石構成材等が低温で大線量の放射線照射を受けることによる線量蓄積効果とこれら物質の放射化である。以下でこれらの問題を少し詳しく述べ、我々の実験的研究の進展状況についても触れる。

2. 超電導状態に対する放射線照射効果

熱平衡状態にある超電導体に外部から強い摂動を与え、準粒子・フォノンを励起し、熱平衡状態からずらし、それらの時間的・空間的分布を把握しようとする、いわゆる非平衡超電導状態の研究は急速に発展してきた。それらの中で、超電導ギャップエネルギー (Δ) に比べて大きいエネルギー注入によって非平衡状態を励起する方法は、系の温度をあげる熱効果の影響が大きいことから見捨られ、現在は、超電導体のトンネル接合を作り、バイアス電圧で注入準粒子のエネルギーを制御し、連続注入による非平衡定常状態についての研究が主力となっている。¹⁾ しかし、ここでは Δ より十分大きいエネルギーを持った放射線による非平衡状態を考慮しなければならない。もし、放射線粒子がクーパ対電子に直接衝突し、準粒子・フォノンを励起し、準粒子-フォノン相互作用の結果、両者のエネルギーが Δ 付近に分布しておれば、非平衡定常状態にあると考えられるが、²⁾ それが非常に大きい場合は熱エネルギー注入であり、両者は競合すると考えられる。超電導電流が流れていれば、この準粒子に基因する電圧パルスが観測され、そのパルスの立ち上がりは鋭く、準粒子緩和時間に基づく decay もナノ秒以下となる。一方、系の昇温による抵抗変化も電圧パルスを発生するが、その decay は熱拡散のオーダーであり、前者程速くないと考えられる。

超電導磁石運転技術面からみると、多数個の粒子からなるパルス又はバースト状放射線によって、非平衡状態励起まで止まるのか、局所常電導転移やクエンチにまで到るのか、或いは、これらが他の不安定要素と重複する時、又、他の不安定要素（磁束変動、衝撃応力負荷等）が発生する時の電圧パルスと弁別可能であるか等を把握する必要がある。

研究室では超電導コイルを模擬した薄膜・細線状超電導体に短パルス放射線を照射し、誘起される電圧パルスから、上述の二つの生成因を分離しようとしている。高エネルギー放射線照射の場合の大きな誘導雑音や Liq. N₂ 照射の危険をさけ、先ず、パルスレーザ照射を行っているが、出力電圧パルスが小さく、速い測定系で分析するための広帯域増幅に苦労している。

3. 超電導磁石材料に対する放射線照射蓄積効果

超電導磁石材料に対し、低温で大線量の放射線照射によって起こる問題は四つに大別できる。1) 超電導線材の超電導特性 (T_c , H_{c2} , J_c 等) の劣化、2) 安定化材 (Cu, Al) の電気抵抗値増加による超電導線の安定性の低下、3) 磁石構成材料の機械的性質の劣化、及び、4) これら物質の放射化である。1) ~ 3) の劣化の原因は、放射線によって形成された各種欠陥が低温のため、その拡散・凝集が抑制され、蓄積効果が室温照射の際に比べ、大きいからだと考えられている。勿論、放射線のエネルギー・線質によっても欠陥生成の分布が異なり、劣化の様相が異なる。D-T核反応の核融合炉からは 14.4 MeV の中性子が発生し、この中性子照射による 1) ~ 3) の問題を想定して、核分裂炉からの中性子照射が行なわれてきた。³⁾ しかし、低エネルギー中性子よりも 14.4 MeV の方がより高密度の欠陥を作ることから、中性子エネルギー分布中、14.4 MeV の成分が多いときには劣化が大きいであろうことが指摘された。⁴⁾ 一般に中性子と被照射物質原子との弾性衝突の場合、一度の衝突でクラスター状の多数個の欠陥 (カスケード損傷) を作るのに対し、電子線照射の場合、一度の衝突で多数の欠陥を作ることはなく、欠陥分布も均等になる。照射によって形成される欠陥は、主として空孔と interstitial 原子から成るから、再結合を考慮すると、その濃度は照射線量に対して飽和する。中性子照射の場合の飽和線量は非常に大きいが、電子線の場合、それ程大きくなく、又、加速器からの出力電子数も多いので、欠陥分布を飽和させることが容易である。低温下での分裂炉からの中性子照射の研究と室温下低エネルギー電子線照射 (例えば電子顕微鏡視野下で欠陥を生成しつつ観察) の研究は多数なされたが、上述の理由で両者の結果が密接に結びつかないように思われる。しかし、照射電子のエネルギーが高くなると、衝突の際、電子が原子に与える最大エネルギー (E_t) が大きくなり、カスケード損傷を形成することが可能となる。例えば、0.5 MeV の中性子の場合と 30 MeV の電子の場合、ほぼ E_t は等しくなり、14.4 MeV 中性子と 170 MeV 電子の場合、 E_t が等しくなる。

更に、極低温下の照射では、形成された欠陥の空間分布は変化し難いから、昇温により転位ループ形成までの過渡的現象を観測できるはずである。これら欠陥を反映する現象として電気 (残留) 抵抗の測定が有効な手段となる。

以上の観点から、当研究室では超電導線材、特に安定化材について 4 K 附近の温度で電子線パルス照射を行い、残留抵抗の等時あるいは等温焼鈍に伴う変化を測定しようとしている。また磁石構造材 (ステンレススチール等) の塑性流動応力に対する照射効果についての研究にも着手しようとしている。勿論、室温下での硬度測定や電子顕微鏡観察により、欠陥や転位を評価し、既知の低エネルギー電子線照射の結果と比較する。これらの実験のために準備された大型実験装置について少しく述べる。

4. 電子線型加速器 (ライナック) と極低温照射装置

産研ライナックの特性の詳細は別報にゆずるとして、⁵⁾ 出力特性を表 1 に示す。電子線エネルギーが 2.5 MeV 以上のとき、安定したビームが取り出せ、これを γ 線、中性子 (強度は大きくないがエネルギーは MeV)、紫外から赤外までの光パルス等に変換可能である。このライナックの特色はパルス特性にあって、時間幅の短い、高強度の電子線パルスを繰り返し可変で加速できることである。Single bunch モードでは、パルス当たり 10^{11} 個の電子を約 30 ピコ秒内にパンチしたパルスとして取り出せるので、これを 2 節に述べた非平衡超電導実験に用いようとしている。⁶⁾ 30 ピコ秒の励起時間は準粒子・フォノン緩和時間に比べても、十分短い時間と思われる。Transient モードの電子線パルスは、その尖頭電

表 1. The output beam characteristics of linac.

	Mode		
	Steady state	Transient	Single bunch
Energy (MeV)	38-18	38-18	38-18
Peak current	780 mA (27 MeV, 1 μ s)	16 A (27 MeV, 10 ns)	14 nC (total charge/ pulse)
Pulse width (FWHM)	0.1-2.5 μ s	3-100 ns	a few tens ps
Repetition rate (max. Hz)	360	720	720
Energy width ($\Delta E/E$, %)	2	—	1
Beam diameter (mm)	3	3	3

流値が大きく、繰り返し照射による集積効果は勿論、パルス毎の照射効果の観測も期待できる。

ところでこれまで述べてきた照射効果のほかに大型超電導磁石では運転に伴う巨大な電磁力がその安全運転を全運転を脅かす因子として注目されている。

放射線照射と電磁力の同時重疊効果を評価するために上記の残留抵抗測定の他に各種の超電導特性や各材料の機械的性質の測定が、照射時の低温を保持したままで行なわなければならない。こうした意図で設計・製作された照射測定装置（SPEIX と呼ぶ）の概略図を図1に示す。容量5トンのアクチュエータによって超電導磁石そのものを含めた大型試料に各種の波形の応力・歪が負荷でき、引張り・圧縮・破壊靱性・疲労特性等も測定できる。ここからの蒸発Heガスに対する放射線モニターの設置によって実験装置のシステム化が完成し、実用に供せられている。

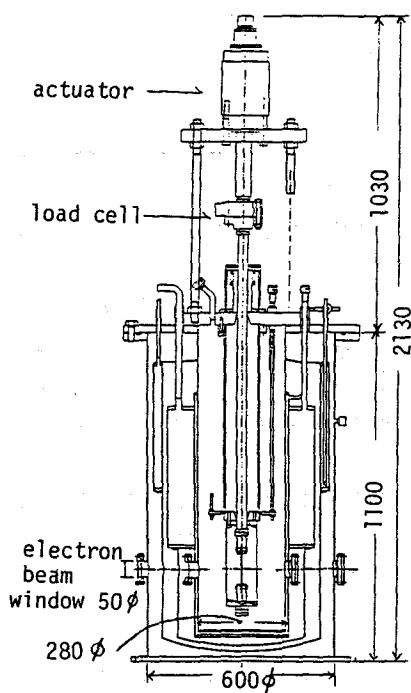


図1. 極低温下電子線照射・引張負荷装置

参考文献

- 1) 井口家成：日本物理学会誌 **35** (1980) 314.
- 2) M. Kurakado and H. Mazaki ; Phys. Rev. B **22** (1980) 168.
- 3) A. R. Sweedler, D. E. Cox and S. Moehlecke ; J. Nucl. Mat. **72** (1978) 50.
- 4) H. Fujiwara, Y. Hayashiuchi and T. Okada ; Proc. ICMC, Kobe 1982, 90.
- 5) H. Sakurai et al. : Mem Inst. Sci Ind. Res., Osaka Univ. **38** (1981) 51.
- 6) S. Owaki ; Jpn. J. Appl. Phys. **22** (1983) 723.

低温センターで液化業務を行なっていくにあたっては、法律により、以下の保安管理のための組織を設けることが義務づけられています。

吹田分室		豊中分室	
保安統括者	山田朝治（工学部長）	金森順次郎（理学部長）	
”代理	三石明善（センター長）	伊達宗行（副センター長）	
保安技術管理者	山本純也	千原秀昭	
”代理	岡田東一	長谷田泰一郎	
保安係員（機械）	脇坂義美	吉田立	
”代理	牧山博美	本河光博	
保安係員（化学）		松浦基浩	
”代理		菅宏	

(昭和58年7月現在)