

超電導シンクロトロン用導体の試作

古戸義雄* 鈴木卓哉** 池田 長* 田中靖三* 目黒信一郎**
 (古河電工 中央研究所* 日光研究所**)

1. 序 近年, シンクロトロン用パルスマグネットの超電導化を目的とする研究が世界各地で精力的に進められている。この目的に使う超電導線は交流損失を抑える為に各種の構造上の工夫が必要となるが、我々は三層構造, 成形燃線など数種の導体を試作し、交流損失などの測定を行つたので、その結果を報告する。

2. 交流損失計算¹⁾ 超電導シンクロトロンの代表的パラメータ (NAL) に対して、超電導体のヒステリシス損 P_h , 導体シースの渦電流損 P_e , 超電導フィラメント間の常電導金属損 P_e' の各種交流損失を下記の近似式²⁾で求めた。その結果を Fig. 1 に示す。

$$P_h = 2\mu\omega H_p H_a (1 - 2H_a/3H_p)$$

$$P_e = \frac{1}{2a} \sqrt{\frac{2\omega\mu}{\sigma}} H_p^2 \frac{\sinh 2a/\delta - \sin 2a/\delta}{\cosh 2a/\delta + \cos 2a/\delta}$$

$$P_e' = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{2\omega\mu}{\sigma}} H_p^2 \frac{\sinh 2l/\delta}{\cosh 2l/\delta}$$

$$H_a = J_c d \quad \delta = \sqrt{2/\omega\mu\sigma}$$

ここで、 H_p は最大磁界, 導体サイズは $2a \times 2b$, $2l$ はツイストピッチ, ω は角周波数 $2d$ は NbTi 径, σ, μ はマトリックス金属の導電率及び透磁率である。

3. 試作導体 上記計算に基いて試作した各種構造の導体の諸元を右表に示す。0.05 Hz より早いパルス運転下では交流損の大部分を占めるシース損を低減せしめるため高抵抗金属の CuNi を配置し

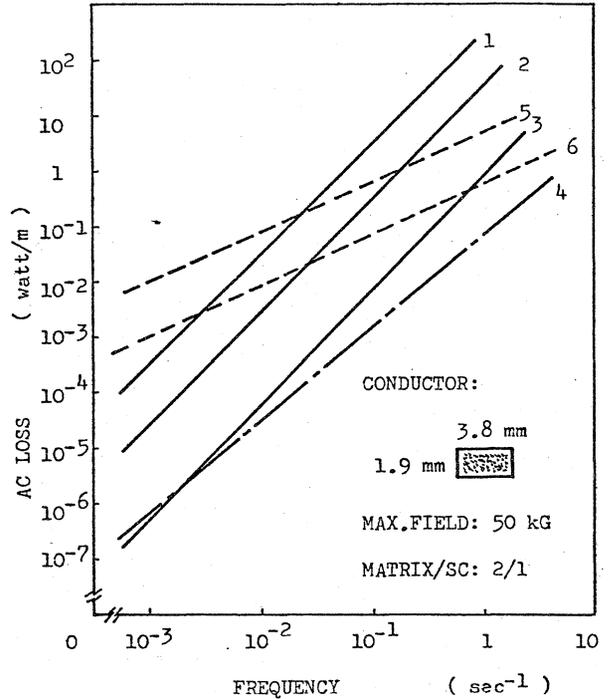


Fig. 1 Order comparison of AC loss

1. copper sheath
2. copper sheath divided into 30 parts
3. Cu-Ni sheath
4. copper between filaments
5. Nb-Ti hysteresis loss (1,000 cores)
6. Nb-Ti hysteresis loss (10,000 cores)

Table 1 Superconducting cable for pulsed magnet

item	type	TC-A	TC-B	TC-C	CB-48	CS-7	CS-11	CS-15
conductor size (mm x mm)		1.22x3.81	1.89x3.78	1.86x3.72	1.91x4.06	1.91x3.81	1.91x3.81	0.92x4.93
strand dia. (mm)					0.35	1.05	0.69	0.59
filament dia. (micron)		30	37	36	27	10.3	6.8	6.0
number of strand		1	1	1	48	7	11	15
number of filament		2,300	2,300	2,300	3,840	21,000	33,000	45,000
copper/superconductor ratio		2.6*	1.8*	1.9*	1.1	2	2	1.7
insulating metal		Cu-Ni	Cu-Ni	Cu-Ni	In (Sn-Ag)	Sn-Ag	Sn-Ag	Sn-Ag
twist pitch of strand (mm)		25	25	25	5	12.5	12.5	12.5
braiding or stranding pitch (mm)					50	50	50	50
critical current at 50 kG (A)		1,980	3,850	3,840	3,560	3,080	2,010	1,900
supplied to			NAL	NAL	NAL	NAL	NAL	LBL

TC : Three-component conductor
 CB : Compacted braided cable
 CS : Compacted stranded cable
 * : Normal metal / Superconductor ratio

たのがTC-A, TC-B (Fig.2)である。TC-C (Fig.3)はCuシースをCuNiにより分割して安定性と渦電流損の低減を両立させた導體である。

比較的遅いパルス運転ではヒステリシス損が相対的に大きくなり、NbTi素線径をより細くする必要があるが、CS-7, 11 (Fig.4), 15は10 μ 以下の超極細素線を用い、且、SnAg絶縁成形撚線に構成してヒステリシス損と渦電流損の双方を低減せしめたケーブル導體である。

4. 交流損失測定 Fig.5, 6は成形撚線ケーブルの交流損失測定の結果の一例を示したものである。Fig.5で1 kG前後で折曲がみられ、細い素線でより低い方にずれる傾向が認められる。Fig.6の勾配は渦電流損を意味するが、strand径に対する顕著な依存性が認められ、理論計算と略一致する。換言すれば分割撚線の効果が実証されたと云える。

参考文献 1) 古戸他: 第11回低温工学研究発表会A-19 (1973)
2) 黒田他: ICEC-5, 504 (1974)

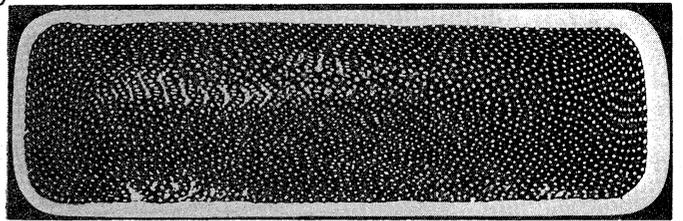


Fig.2 TC - B

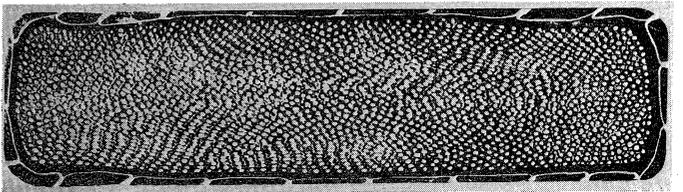


Fig.3 TC - C

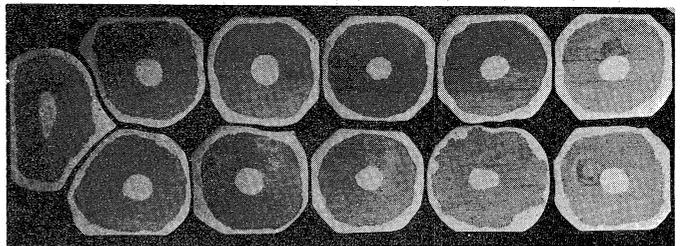


Fig.4 CS - 11

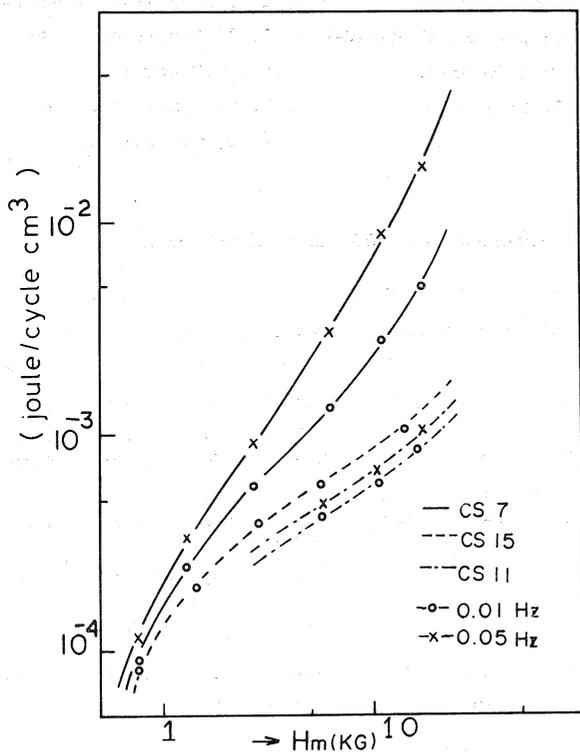


Fig.5 Magnetic field dependence of AC loss

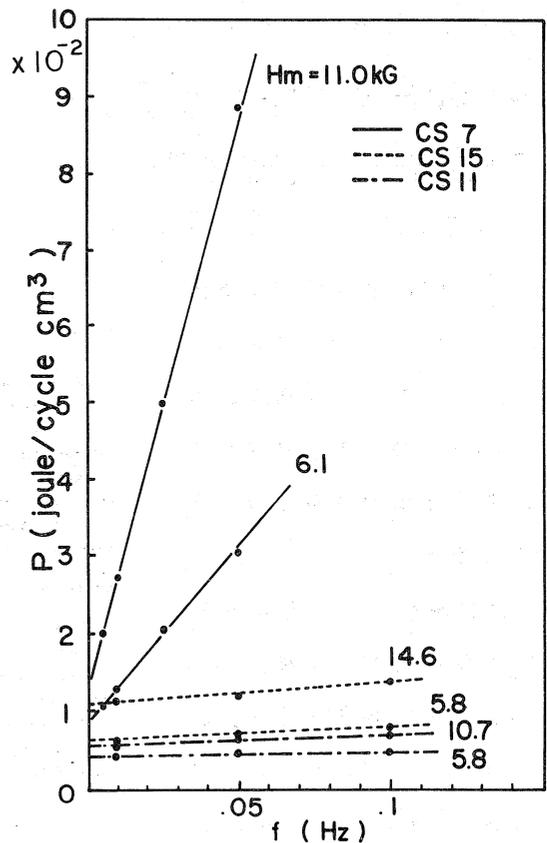


Fig.6 Frequency dependence of AC loss