

6セルリング試験に必要な電磁石コイルの冷却水量の見積り

Y. Arimoto

Osaka University, 1-1, Machikaneyama, Toyonaka, Osaka, Japan

平成 19 年 6 月 22 日

概要

6セルリング試験に必要な電磁石コイルの冷却水量を見積った。

1 電磁石コイル諸元

電磁石コイルの諸元を表 1 に示す。電力を計算するために用いたコイル抵抗値は、

$$R_F = 0.01401 \quad \Omega \quad (1)$$

$$R_D = 0.01242 \quad \Omega \quad (2)$$

である。この値はコイル温度を 40°C とした場合の 1 コイル当りの理論値である。ちなみに過去の磁場測定での実測値 (電源の電圧と電流のメーターから見積った値)

$$R_{Fexp} = 0.0138 \quad \Omega \quad (3)$$

$$R_{Dexp} = 0.0121 \quad \Omega \quad (4)$$

である。また表の必要流量 q は以下の式から算出した。

$$q = \frac{60U}{4.186\Delta T} \quad \ell/\text{min} \quad (5)$$

ここで U 、 ΔT は消費電力 [kW] 及び許容温度上昇 [°C] である。

2 温度上昇の測定値

2006 年 4 月 19 日に行なった励磁試験でのロガーの結果を図 2 に示す。この時のパラメータは以下のとおり。

$$I_F = 1750 \quad \text{A} \quad (6)$$

$$I_D = 1000 \quad \text{A} \quad (7)$$

$$V_F = 49.0 \quad \text{V} \quad (8)$$

$$V_D = 49.7 \quad \text{V} \quad (9)$$

$$U_F = 85.8 \quad \text{kW} \quad (10)$$

$$U_D = 49.7 \quad \text{kW} \quad (11)$$

$$q_F = 64 \quad \ell/\text{min} \quad (12)$$

$$q_D = 39 \quad \ell/\text{min} \quad (13)$$

この時の予想温度上昇は

$$\Delta T_F = \frac{60U_F}{4.2q_F} = \frac{60 \times 85.8}{4.2 \times 64} = 19 \quad ^\circ\text{C} \quad (14)$$

$$\Delta T_D = \frac{60U_D}{4.2q_D} = \frac{60 \times 49.7}{4.2 \times 39} = 18 \quad ^\circ\text{C} \quad (15)$$

	6セル当たり (クランプ有り)	6セル当たり (クランプ無し)
F coil		
Current [A]	1427	1381
Voltage [V]	239.91	232.17
Power [kW]	342.35	320.63
Water Press [Mpa]	0.47	0.47
必要冷却水量 [L/min]	245.3	229.8
流速 [m/s]	1.4	1.3
D coil		
Current [A]	608.6	452.6
Voltage [V]	181.41	134.91
Power [kW]	110.41	61.061
Water Press [Mpa]	0.19	0.19
必要冷却水量 [L/min]	79.1	43.8
流速 [m/s]	0.5	0.3
温度上昇: ΔT [$^{\circ}\text{C}$]	20.0	20.0

表 1: 電磁石コイル諸元

ヘッダーについている温度計の値は

$$T_{Fin} = 18.0 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (16)$$

$$T_{Din} = 17.0 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (17)$$

$$T_{Fout} = 35.5 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (18)$$

$$T_{Dout} = 36.0 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (19)$$

$$\Delta T_{Fwater} = 35.5 - 18.0 = 17.5 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (20)$$

$$\Delta T_{Dwater} = 36.0 - 17.0 = 19.0 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (21)$$

であった。計算値とヘッダーでの冷却水温度計の測定値のずれは 1.5°C 程度であった。

一方コイル温度はコイルに取り付けられた熱電対で測定した。その時の値は

$$T_{Foff} = 19.0 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (22)$$

$$T_{Doff} = 19.0 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (23)$$

$$T_{Fon} = 34.5 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (24)$$

$$T_{Don} = 29.0 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (25)$$

$$\Delta T_{Fcoil} = 34.5 - 19.0 = 15.5 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (26)$$

$$\Delta T_{Dcoil} = 29.0 - 19.0 = 10.0 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (27)$$

であった。冷却水の温度上昇と比較すると、その差は F コイルで -2°C 、D コイルで -9°C であった。コイル温度が低めになっているのはコイルの温度分布によるものと考えられる。

3 許容温度上昇

必要流量は許容温度上昇によって決まる。許容温度上昇の上限は Coil に取り付けられた Thermoswitch で決められる。(コイル本体はこの温度以下ならば大丈夫であることは KT サイエンスの川口さんに確認済み。) 図 3 に

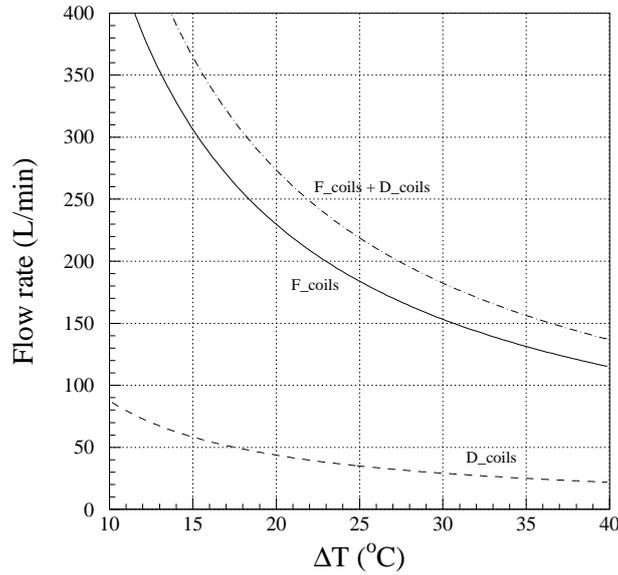


図 1: 必要流量 vs. 許容温度上昇。実線：F コイル 6 セル分。破線：D コイル 6 セル分。一点鎖線：F コイルと D コイル 6 セル分の合計。

メーカーによる温度スイッチ動作温度 (温度を上昇させてスイッチの接点が切れる温度) 測定結果を示す。温度スイッチが切れる温度の平均値 $T_{on:mean}$ 、標準偏差 σ はそれぞれ、

$$T_{on:mean} = 69.8 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (28)$$

$$\sigma = 1.18 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (29)$$

である。コイル温度が 65°C 以下ならばスイッチは動作しない (接点が切れない) と考えられる。

RCNP、M 実験室の冷却水の供給温度は外気温 37°C では 33°C である。また外気温 35°C 以下では 30°C となる。夏は運転しないと考えると許容温度上昇は

$$\Delta T = 65 - 30 = 35 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (30)$$

となる。安全を考慮して

$$\Delta T = 30 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (31)$$

ならば問題ないと考えられる。この場合の必要冷却水量は 182 l/min である。

供給温度 (外気温 37°C)	33°C
供給温度 (外気温 35°C 以下)	30°C

表 2: 阪大核物理研究センター M 実験室供給冷却水温度

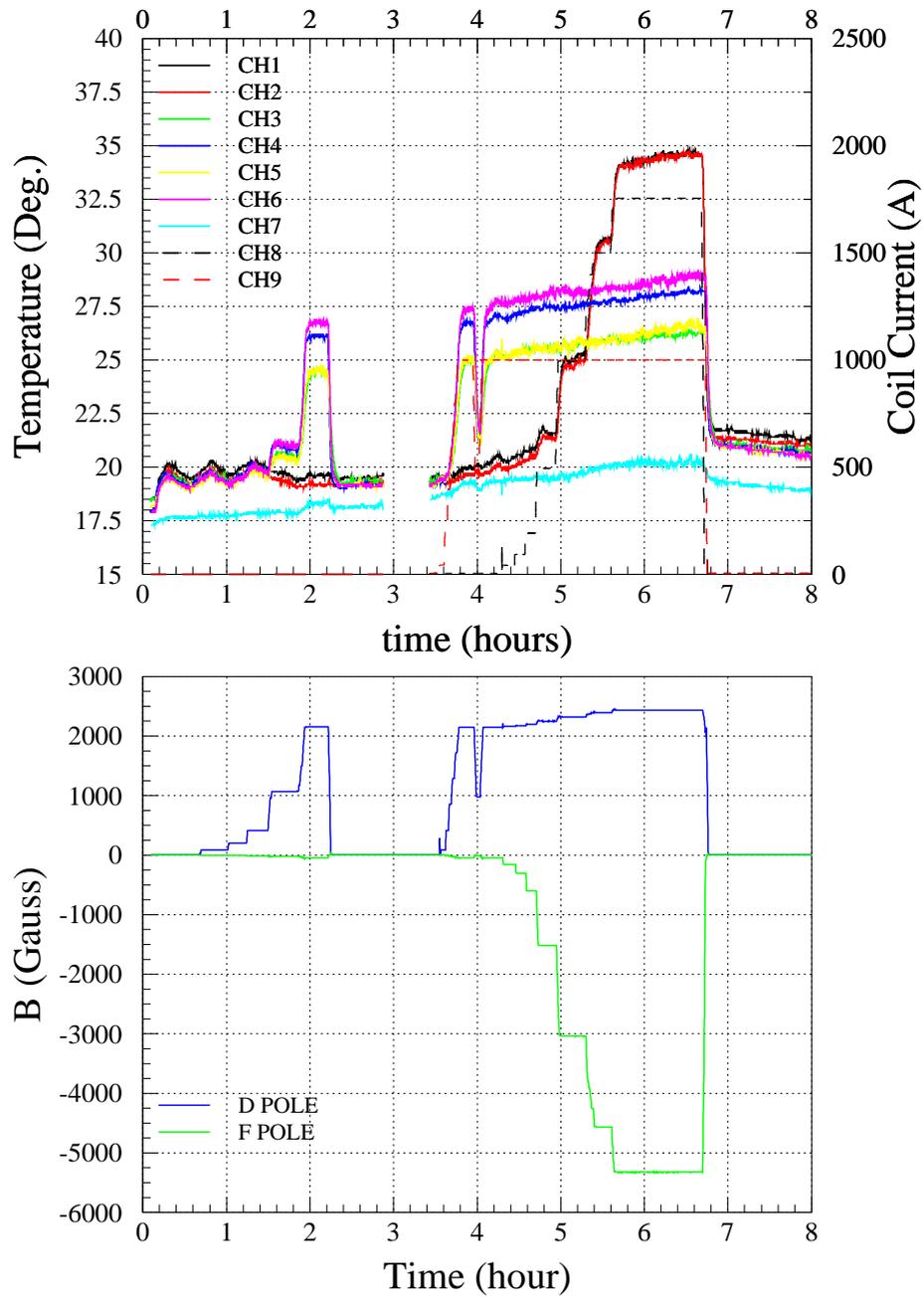


図 2: 2006 年 4 月 19 日に行なった励磁試験のコイル温度、コイル電流、磁場のトレンド。上図: CH1=F コイル下側熱電対、CH2=F コイル上側熱電対、CH3=D コイル右(リング中心から見た)下側熱電対、CH4=D コイル右上側熱電対、CH5=D コイル左上側熱電対、CH6=D コイル左下側熱電対、CH7=F 磁極の熱電対、CH8=F コイル電流、CH9=D コイル電流。下図: 青線; D 磁極の磁束密度、緑線; F 磁極の磁束密度。

データ区間	頻度	列1	
65	0	平均	69.79230769
66	0	標準誤差	0.32610002
67	0	中央値(メジアン)	69.7
68	1	最頻値(モード)	#N/A
69	2	標準偏差	1.175770342
70	5	分散	1.382435897
71	3	尖度	-1.163664939
72	2	歪度	-0.029578024
73	0	範囲	3.6
74	0	最小	68
75	0	最大	71.6
76	0	合計	907.3
77	0	標本数	13
次の級	0		

温度スイッチ試験成績(2005年3月4日、旭計器(株))

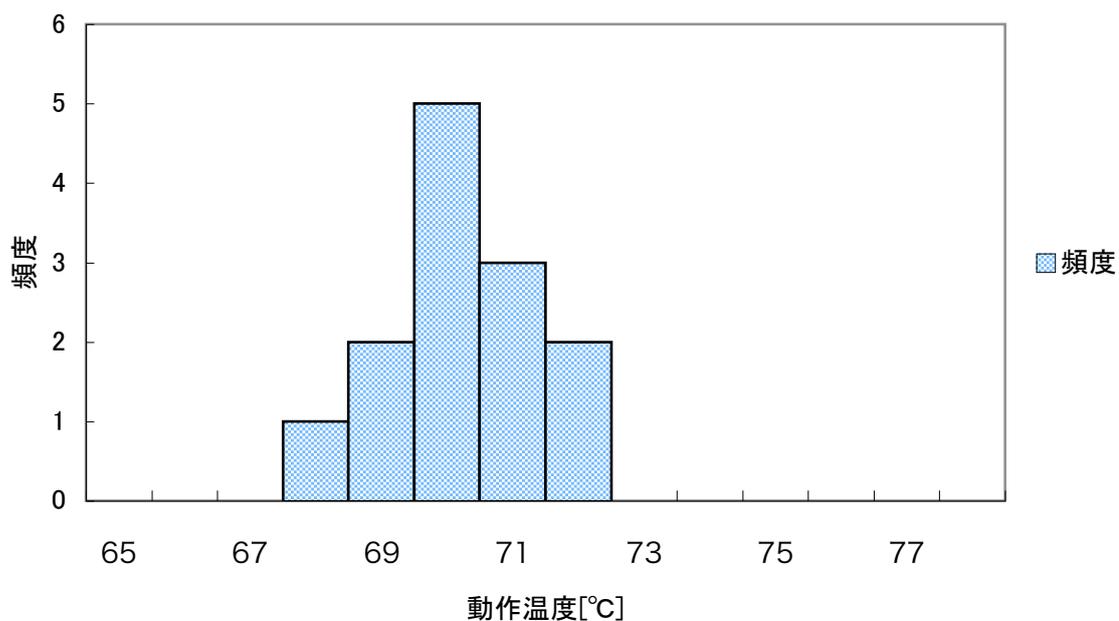


図 3: 温度スイッチ動作温度のバラツキ (旭計器による測定)