

冷却下でのANIR用モーターの特性実験

児島和彦

平成 19 年 2 月 2 日

1 目的

この実験では、ANIR 用改造モーターの発熱特性を調べる。

2 方法

デュワー内には、図のように二つの温度計が取り付けられている。

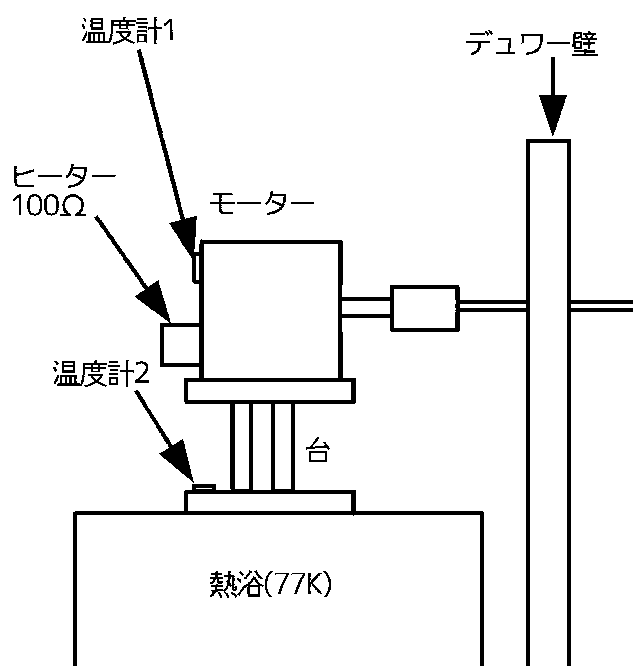


図 1: デュワー内

デュワーに真空を引き冷却したときの平衡温度をその温度計で計り、モーターの発熱特性を調べる。モーターに保持電流を流していないときのそれぞれの温度計の示す平衡温度をそれぞれ T_1^0 、 T_2^0 とする。また、保持電流 (0.4A) を流し、無回転ときの平衡温度を T_1^1 、 T_2^1 、1.5rps(150Hz) で回転させつづけたときの平衡温度を T_1^2 、 T_2^2 とする。さらに、内部に取り付けてある 100Ω のヒーターに 30V の電圧をかけつづけたときの平衡温度を T_1^3 、 T_2^3 とする。二つの温度計の間の熱容量を θ とする。

まず、モーターに保持電流を流さず、ヒーターも発熱させない場合、モーターに P_0 (W) の熱が流入しているとすると、

$$T_1^0 - T_2^0 = \theta \times P_0 \quad (1)$$

が成り立つ。次に、ヒーターから流入する熱を P_h (W) とすると

$$T_1^3 - T_2^3 = \theta \times (P_0 + P_h) \quad (2)$$

が成り立つ。式 2 から式 1 を引くと、

$$T_1^3 - T_2^3 - T_1^0 + T_2^0 = \theta \times P_h \quad (3)$$

となり、 θ が求まる。次に、モーターに無回転で保持電流を流したときの発熱量を P_{motor}^0 、モーターが回転しているときの発熱量を P_{motor}^r とすれば

$$T_1^1 - T_2^1 = \theta \times (P_0 + P_{motor}^0) \quad (4)$$

$$T_1^2 - T_2^2 = \theta \times (P_0 + P_{motor}^r) \quad (5)$$

が成り立つので、式 1 から

$$T_1^1 - T_2^1 - T_1^0 + T_2^0 = \theta \times P_{motor}^0 \quad (6)$$

$$T_1^2 - T_2^2 - T_1^0 + T_2^0 = \theta \times P_{motor}^r \quad (7)$$

となり、モーターの発熱量が分かる。

以上の計算では、 θ に温度依存性がないことが前提になっている。このことを確認するために、アルミニウムの熱伝導率 $k(T)$ (W/Km) の積分値 $\int_{76}^T k(T) dT$ (W/m) のデータをプロットすると、次のようになる。

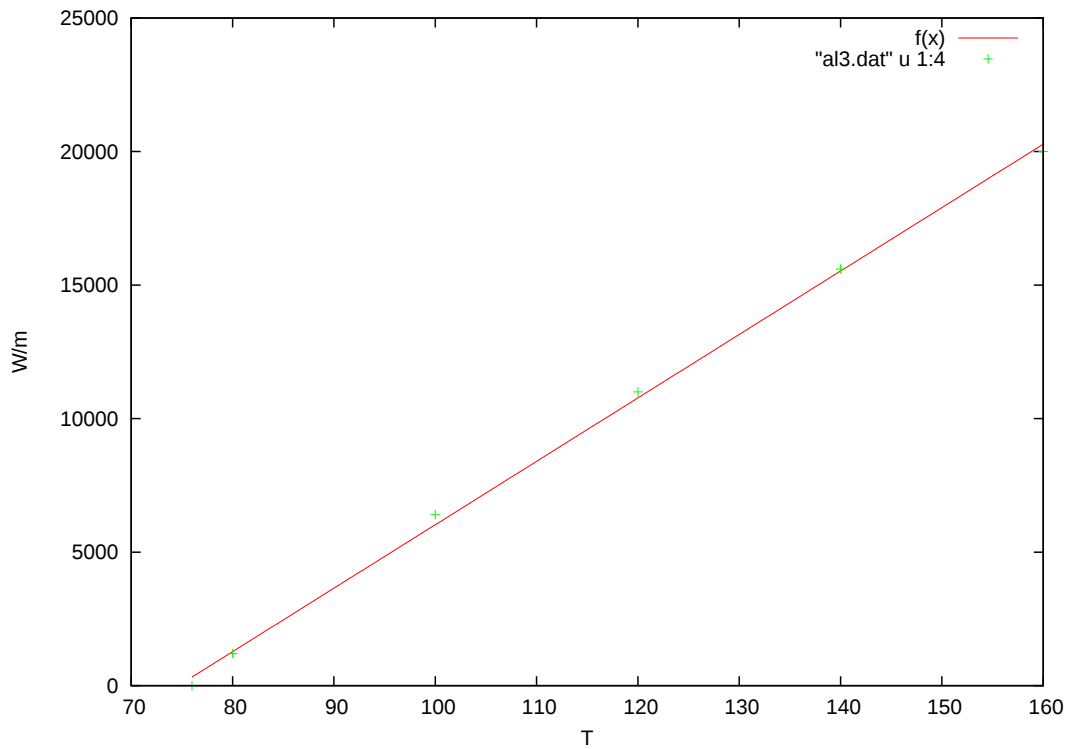


図 2: 熱伝導率の積分値

直線は最小二乗直線 ($f(T) = 237.553 \times T - 17731$) である。図から $\int_{76}^T k(T) dT$ はほぼ直線近似できることが分かる。 $k(T)$ と θ は

$$\theta = \frac{l}{S \times k(T)} \quad (8)$$

(l は長さ、 S は断面積) なる関係があるので、 θ は温度依存性はほぼないと言える。

3 実験結果

まず、デュワー内で平衡に達したモーターに保持電流 0.4A を流すと次のような温度変化があった。

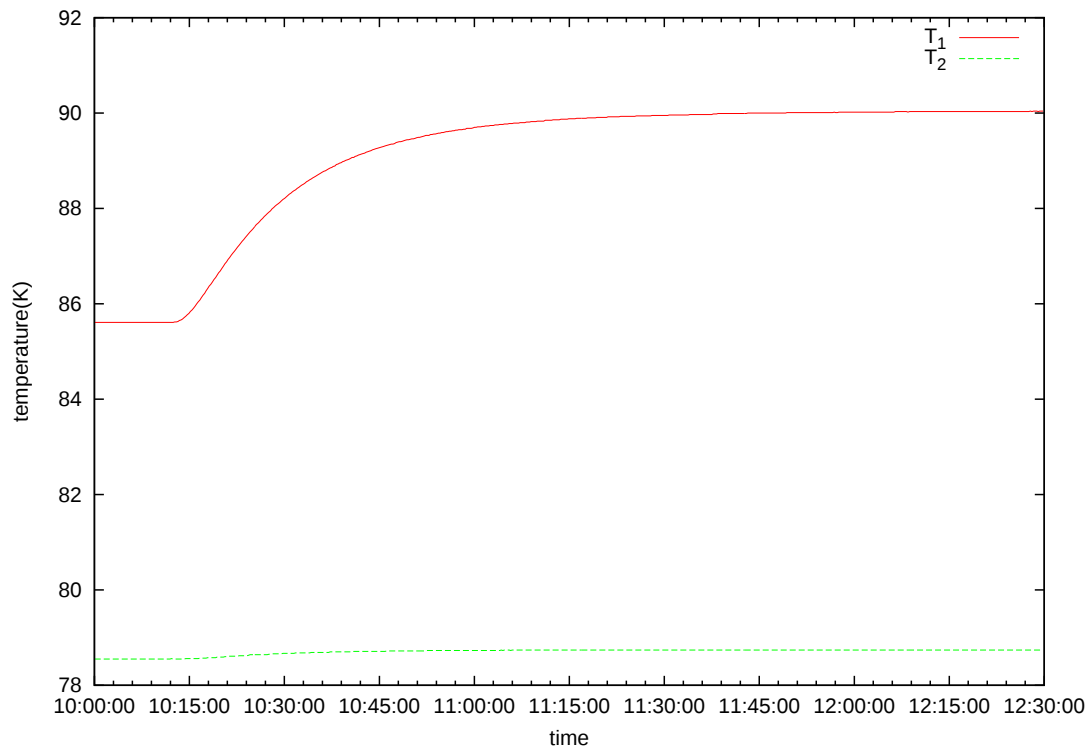


図 3: モーターに保持電流を流したときの温度変化

これから、

$$T_1^0 - T_2^0 = \theta \times P_0 = 7.06 \quad (9)$$

$$T_1^1 - T_2^1 = \theta \times (P_0 + P_{motor}^0) = 11.29 \quad (10)$$

となった。次にモーターを 1.5rps で回転させると、次のような温度変化を測定できた。

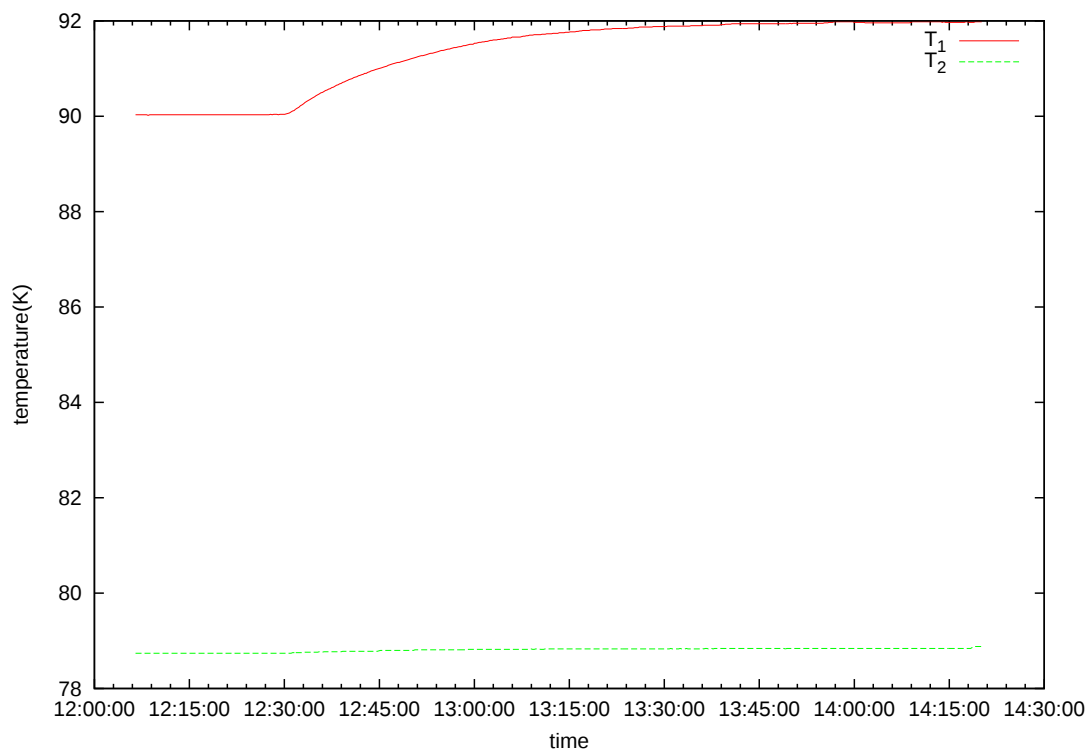


図 4: モーターに保持電流を流したまま、1.5rps で回転させたときの温度変化

これから、

$$T_1^2 - T_2^2 = \theta \times (P_0 + P_{motor}^r) = 13.1 \quad (11)$$

となった。次に、再び保持電流を切り、平衡に達した後、 100Ω ヒーターに $30V$ の電圧をかけた ($P_h = 9W$)。その温度変化は次のようになった。

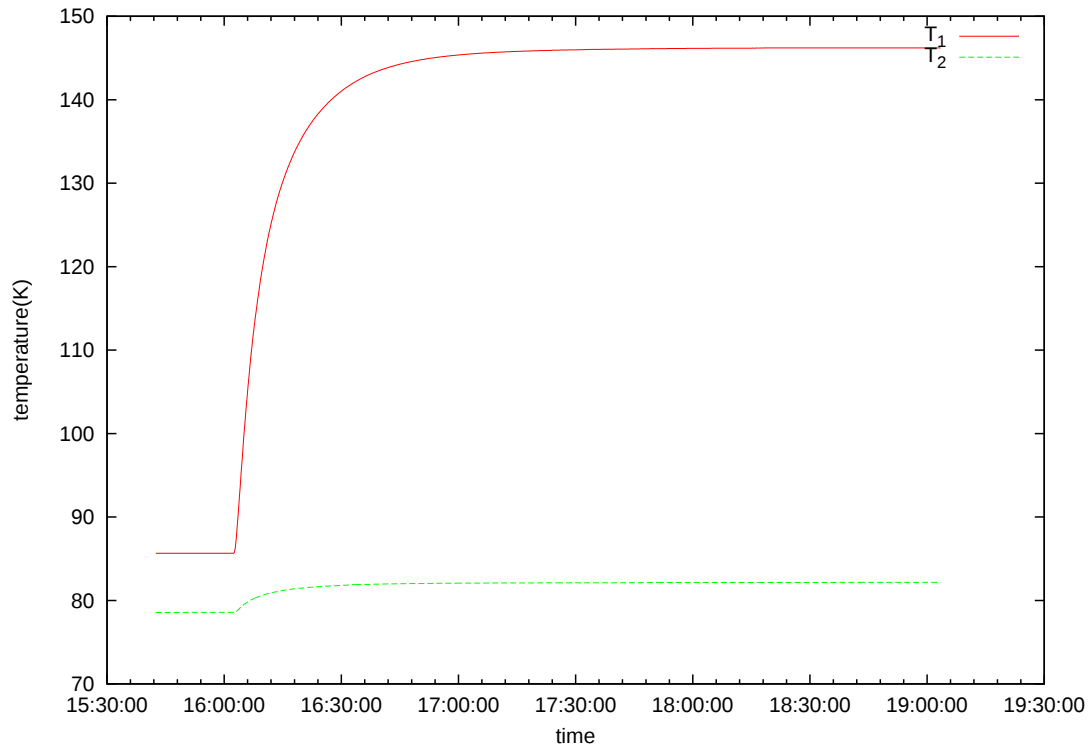


図 5: 保持電流のない状態に、ヒーターで $9W$ の熱を発生させたときの温度変化

これより、

$$T_1^3 - T_2^3 = \theta \times (P_0 + P_h) = 64.03 \quad (12)$$

が分かった。

次に、このデュワーを一旦常温に戻しモーターの台をデュワーに取り付け直してから、再度測定した。この測定ではヒーターの電圧は $5V(0.25W)$ に設定した (モーターの保持電流なし)。この測定結果は次のようになった。

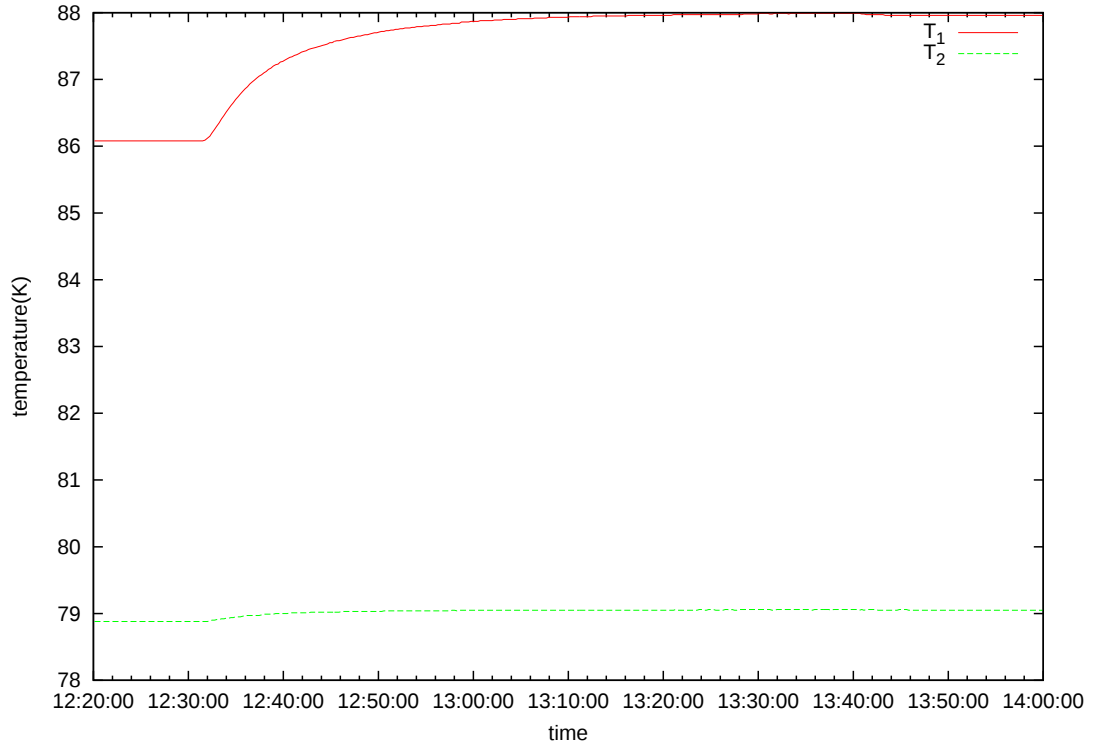


図 6: 保持電流のない状態に、ヒーターで 0.25W の熱を発生させた再測定

結果は

$$T_{1-re}^0 - T_{2-re}^0 = \theta \times P_0 = 7.22 \quad (13)$$

$$T_{1-re}^3 - T_{2-re}^3 = \theta \times (P_0 + P_h) = 8.91 \quad (14)$$

となった。

4 結果

最初の測定からは、

$$\theta = 6.33(K/W) \quad (15)$$

$$P_{motor}^0 = 0.668(W) \quad (16)$$

$$P_{motor}^r = 0.954(W) \quad (17)$$

と計算できる。また、二回目の測定では

$$\theta = 6.76(K/W) \quad (18)$$

と計算でき、熱抵抗はほぼ同じ値となっている。値が若干違う理由としては、モーターの台を付け直したときに熱接触が変わってしまったことが考えられる。

次に、モーターの台の熱抵抗の理論値を計算してみる。モーターの台は下図のようになっており、支柱の上下は温度 T_1 、 T_2 の熱浴と仮定する。

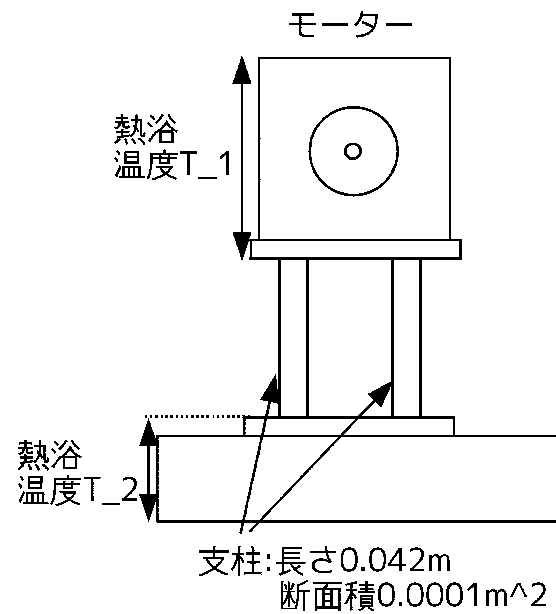


図 7: 台の支柱

図 2 によると、 $k(T) = 237.553(W/Km)$ としてよいので、熱抵抗の理論値は

$$\theta = \frac{l}{S \times k(T)} \quad (19)$$

$$= \frac{0.042}{10^{-4} \times 237.553} \quad (20)$$

$$= 1.86(k/W) \quad (21)$$

である。これは測定値の 0.29 倍程度である。これより、測定値の熱流量は理論値の 0.29 倍しかないことになる。この原因としては、熱接触が悪いことや、実際には台はアルミ合金でできているので熱抵抗が大きくなっていることなどが考えられる。