

ワイヤディレーティング設計標準

平成 20年 9月 3日 初版制定

宇宙航空研究開発機構

免責条項

ここに含まれる情報は、一般的な情報提供のみを目的としています。JAXA は、かかる情報の正確性、有用性又は適時性を含め、明示又は黙示に何ら保証するものではありません。また、JAXA は、かかる情報の利用に関連する損害について、何ら責任を負いません。

Disclaimer

The information contained herein is for general informational purposes only. JAXA makes no warranty, express or implied, including as to the accuracy, usefulness or timeliness of any information herein. JAXA will not be liable for any losses relating to the use of the information.

発行

〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1

宇宙航空研究開発機構 安全・信頼性推進部

JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency)

目次

1 適用範囲	1
2 関連文書	1
2.1 適用文書	1
2.2 参考文書	1
3 用語の定義及び略語	2
3.1 用語の定義	2
3.2 略語	2
4 一般要求事項	2
5 要求	3
5.1 適用温度	3
5.2 推奨電流	3
5.2.1 単線の最大電流	3
5.2.2 束線状態での推奨電流	3
5.2.3 電力線の種類	4
5.2.4 電力線の線番	4
5.2.5 異なる線番が混在する場合の配慮	4
5.3 デューティを考慮した最大電流	7
5.4 推奨値を満足出来ない場合の処置	7
5.5 更に低温で使いたい場合	7
6 付録	8
付録 I 材料特性試験	9
1. 適用温度	9
2. 宇宙環境因子による影響	9
付録 II 低減率取得試験	11
参考文献	19

1 適用範囲

本標準は、コンポーネント内を含む宇宙機内部に広く使用されている Raychem®55/電線に対する推奨電流値を示す。

なお、宇宙機構体外部に曝されるワイヤは、温度、放射線、原子状酸素、紫外線などの宇宙環境による影響を受けることに留意した設計を行う必要があり、ここに示す許容電流の推奨値そのものが適切でない場合もある。従って、外部宇宙環境に直接曝されるワイヤは、当該宇宙機のミッションプロファイル等の運用条件を加味した詳細な検討が必要となることに留意しなければならない。留意すべき宇宙環境因子による影響は 6 章付録 I に示す。

2 関連文書

2.1 適用文書

以下の文書は、本標準の定める範囲において、本標準の一部とする。尚、本標準と適用文書間で矛盾が生じた場合は、本標準の規定を優先する。

- (1) MIL-STD-975
NASA Standard Electrical, Electronic, and Electromechanical (EEE) Parts List
- (2) NASA/TP 2003 212242
EEE-INST-002: Instructions for EEE Parts Selection, Screening, Qualification, and Derating
- (3) JERG-2-212-TM001
ワイヤディレーティング試験データ集

2.2 参考文書

本設計標準に関連する参考文書を以下に示す。

- (1) ECSS-Q-60-11A
Space product assurance Derating and end-of-life parameter drifts - EEE components
- (2) ASTM E595
Standard Test Method for Total Mass Loss and Collected Volatile Condensable Materials from Outgassing in a Vacuum Environment

3 用語の定義及び略語

3.1 用語の定義

- (1) シングルジャケットワイヤ
1層の絶縁被覆で絶縁されたワイヤ。
- (2) ツイストダブルジャケットワイヤ
1層の絶縁被覆で絶縁されたワイヤをツイストペアしたその外側をさらにもう1層の絶縁被覆で覆ったワイヤ。

3.2 略語

AWG	American Wire Gauge	米国電線規格
ETFE	Ethylene TetraFluoroEthylene	四フッ化エチレンとエチレンの共重合体
MLI	MultiLayer Insulator	多層断熱材
SLI	Single Layer Insulator	単層断熱材

4 一般要求事項

ワイヤの定格電流は、一般にワイヤを定格温度以下で使用するために要求されるものである。また、ワイヤの定格温度は、被覆に使用されている絶縁体により決定される。本標準の対象とする Raychem®55/電線（被覆材料は電子線架橋を施した ETFE：エチレンと四フッ化エチレンの共重合体、銀メッキ線）の定格温度は 200℃であるが（錫メッキ線の定格温度は 150℃）、単体としての保証温度であり、200℃以下で被覆が固着する故障モードがあることから、150℃以下で使用すべきである。

本標準は、標準的な使用方法における Raychem®55/電線のワイヤディレーティングを示すものであるが、他の線材もしくは本標準の条件を超えた使用方法については、各プロジェクトにおいて個別に下記の検討を実施する必要がある。

- (1) 大電流が流れるワイヤハーネス（束線を含む）は、詳細な熱解析を行い、その影響を検討すること。
- (2) ワイヤを束ねる場合は、発熱量を考慮して適切な 1 本当たりの電流値及び束線数を設定すること。

5 要求

5.1 適用温度

ワイヤの最高温度は 150°C を超えないこと。

但し、最高温度が 150°C を超える場合にも、ミッション期間を通じてワイヤ被覆に亀裂が発生しないことを証明できる場合は、この限りではない。

尚、周辺のコネクタ、コンポーネント等に与える温度の影響についても考慮すること。

5.2 推奨電流

5.2.1 単線の最大電流

現在まで広く適用されている MIL-STD-975 APPENDIX A 3.16 及び最近使用され始めている NASA インストラクション EEE-INST-002 SECTION W1 の要求を採用する（両基準の単線の電流値は同じである）。単線の推奨最大電流を表 5.2-1 に示す。本値は周囲温度 70°C における熱真空環境下での推奨電流である。

表 5.2-1 単線の推奨最大電流

線径 AWG	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4
電流 (A)	1.3	1.8	2.5	3.3	4.5	6.5	9.2	13	19	25	33	44	60	81

5.2.2 束線状態での推奨電流

電力線ワイヤ束線数（電力線信号線混在の場合は、電力線のみの本数）をパラメータにした、単線の最大電流に対する低減率を図 5.2-1 及び 5.2-2 に示す（参考として、従来の MIL-STD-975 の要求を併記する）。本図を参照し設計箇所のコンフィギュレーション（電力線と信号線の比率、断熱材）及び使用温度を勘案して電力線に対する電流が妥当であることを確認しなければならない（図 5.2-1 及び 5.2-2 の上図と下図はスケールが違うだけで同じものであり、確認しやすい図を使用してよい）。図のポイントが試験から求められた低減率であり、グラフから内挿値を読むことは可能であるが、直線的に外挿することにより単純に低減率を求めてはならない。外挿が必要な束線状態とする場合は、適宜評価を行うこと。

電磁干渉の点から電力線と信号線は分離することが望ましいが、分離できない場合は、熱設計上（実装設計上）の最悪状態という観点から、発熱する電力線が束線の中心にあるものと考えべきであり、図 5.2-1 及び 5.2-2 ではその条件での低減率を示している。

図中の電力線+SLI 及び電力線+MLI は電力線を断熱材で巻きつけているコンフィギュレーションで試験を実施しており、外部への熱放射を抑えられる反面、低減率を大きくとる必要があることに留意しなければならない。

なお、本図は宇宙航空研究開発機構の評価試験結果から導き出されたものであり、その根拠データの抜粋は 6 章付録 II に、詳細はワイヤディレーティング試験データ集 (JERG-2-212-TM001) に示されている。

5.2.3 電力線の種類

電力線として評価している線材は、通常電力線として使用されるシングルジャケットワイヤ及びツイストダブルジャケットワイヤを対象としており、両者に優位な差が無いことを確認している。従って、本標準を適用する場合には、シングルジャケットワイヤ及びツイストダブルジャケットワイヤを使用すること。他のワイヤを使用する場合は、適宜評価を行うこと。

5.2.4 電力線の線番

今回の試験では最も使用頻度の高い AWG20 電線を使用した。MIL-STD-975 は電線の太さによりディレーティングに差異がない規定となっていること、また、ECSS-Q-60-11A では AWG12 以上と AWG14 以下で規定が分かれているものの、AWG14 より細い電線では低減率が同じであること、という規定を参考にして、本データは AWG14 よりも細い電線で使用可能である。

5.2.5 異なる線番が混在する場合の配慮

異なる線番が混在する場合には、電力線として束ねられる全ての線番の合計本数を束線数として低減率を求め、それぞれの線番の単線の最大電流(表 5.2-1)から、それぞれの線番の許容電流を求めること。

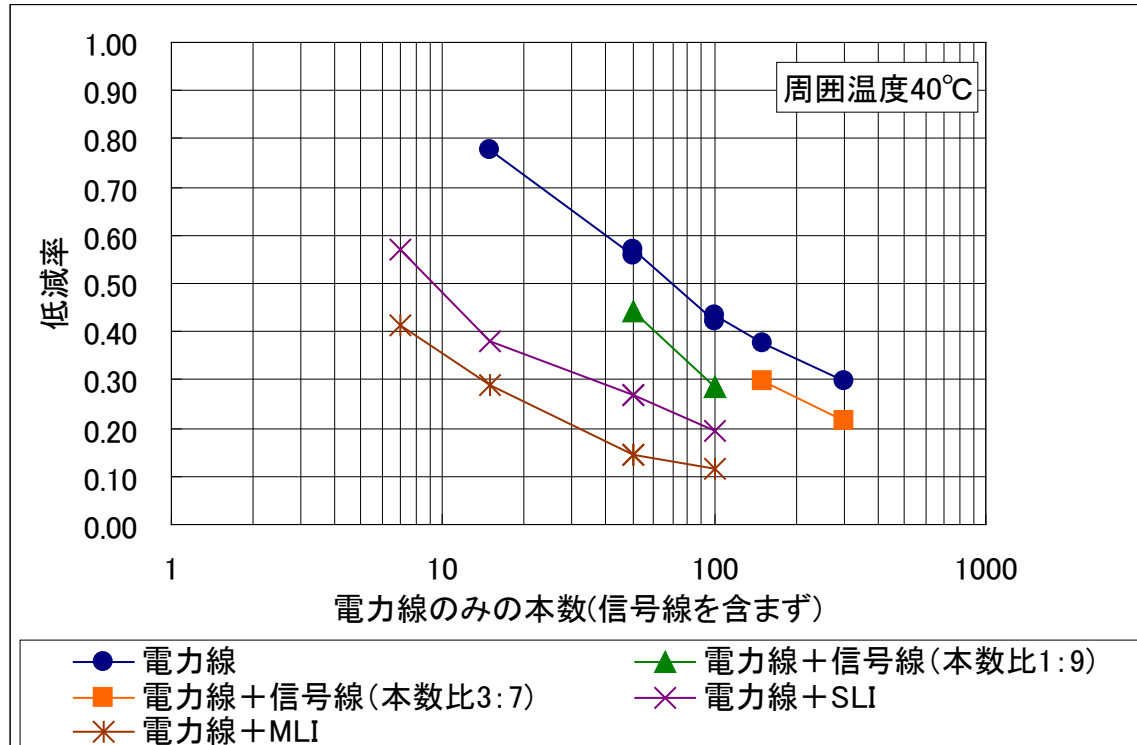
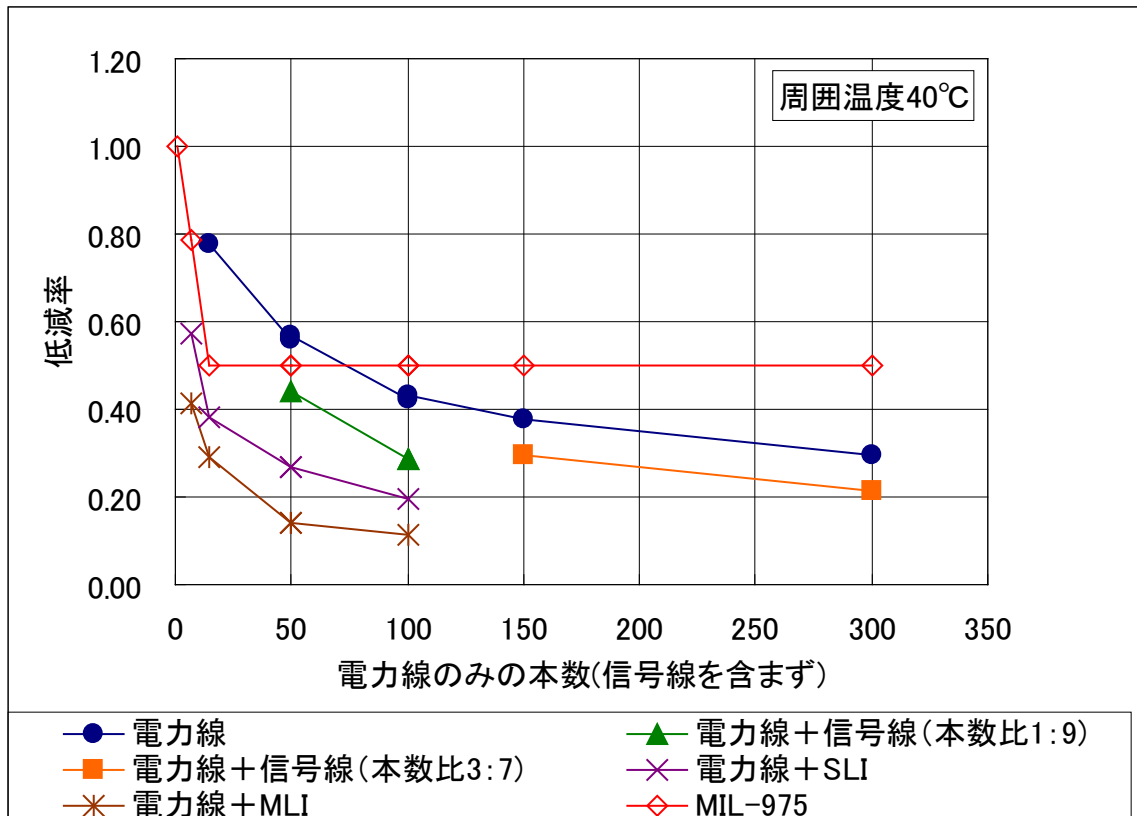


図 5.2-1 ワイヤ束線数をパラメータにした単線の最大電流に対する低減率(周囲温度 40°C)
 注) 束線の最大電流値を求める際には、5.2.1 項に示す単線の最大電流値を用いること

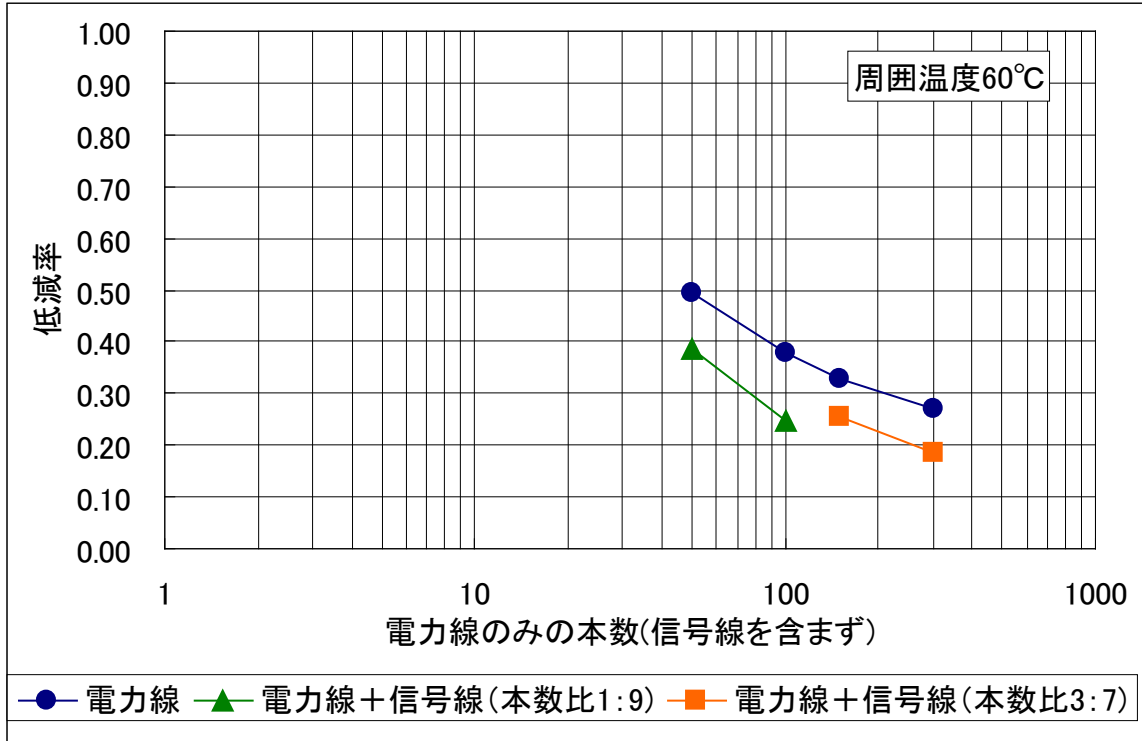
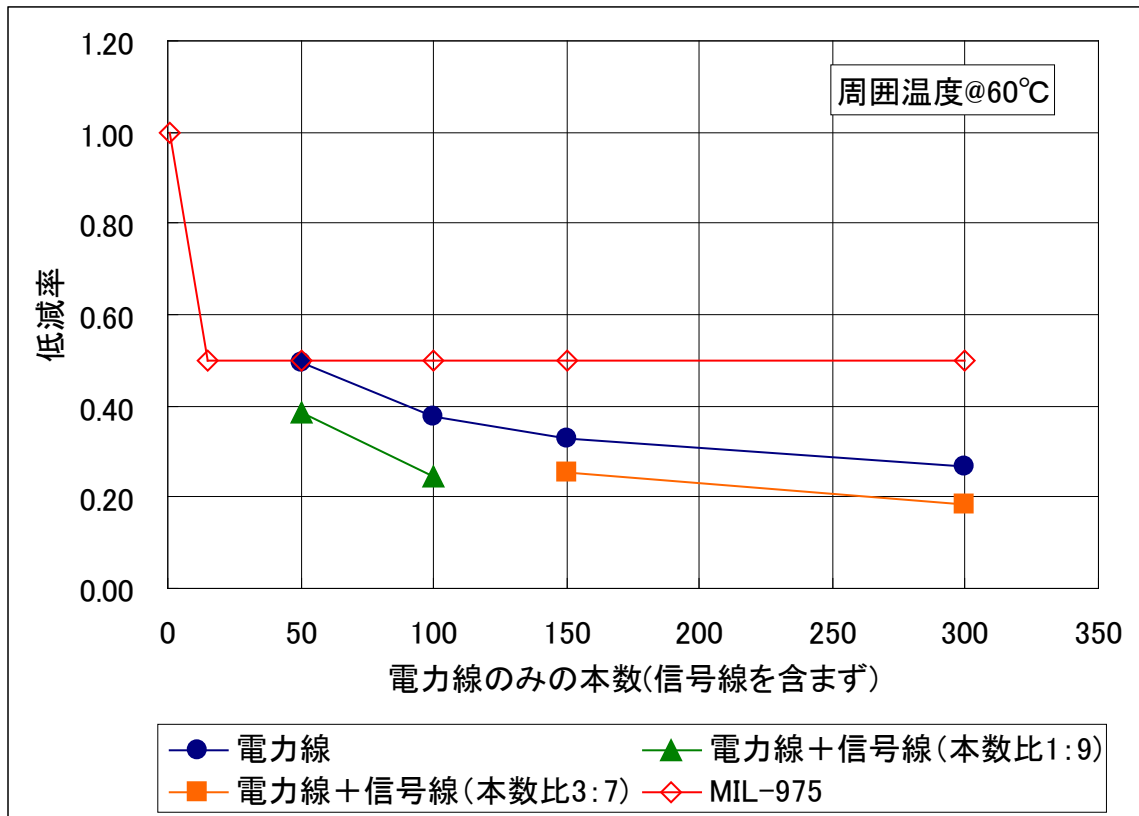


図 5.2-2 ワイヤ束線数をパラメータにした単線の最大電流に対する低減率(周囲温度 60°C)
 注) 束線の最大電流値を求める際には、5.2.1 項に示す単線の最大電流値を用いること

5.3 デューティを考慮した最大電流

デューティを考慮して、5.2 項の最大電流を超えるピーク電流を採用する場合は、ピーク電流値によってワイヤ温度が 5.1 項の要求を満足することを試験・解析等によって立証しなければならない。

5.2 項の最大電流は、電流が定常的に流れる場合の規定であり、パルス動作をさせる機器に接続する電線の最大電流値は、前項に示した値以上であったとしても所定の温度以下に抑えることが可能である。ただし、発熱体としての電線の熱容量、デューティ比によっては、かなり低い電流値においても、前項に示した温度以上になる可能性があることに留意しなければならない（例えば、熱容量が小さく、連続通電時間が長い場合、デューティ 25%の場合に前項に示した電流値の 2 倍のピーク電流を流すことを許容出来ない等）。

5.4 推奨値を満足出来ない場合の処置

本標準で示した推奨値は、全ての実装形態に対応するものではない。一般化を図る観点より、線材の端部が熱的に絶縁された条件での評価試験結果から導き出されたものである。従って、本標準に示された電流値で設計の妥当性をスクリーニングし、合致しない場合は、当該部位の熱モデルを設定して、当該のハーネス等の設計が熱的に問題無いということを立証しなければならない。

5.5 更に低温で使用したい場合

本標準で示した推奨値は、5.1 項の適用温度を満足するためのディレーティングであり、更に低温で使用したい場合は、6 章付録Ⅱ及びワイヤディレーティング試験データ集 (JERG-2-212-TM001)を参照すること。

6 付録

本設計標準を作成するに当たり、Raychem®55/線の各種試験を実施している。試験から得られた主な知見を付録として示すが、詳細はワイヤディレーティング試験データ集 (JERG-2-212-TM001)を参照すること。

付録 I 材料特性試験

1. 適用温度

本標準が示す推奨値は、宇宙実績が豊富な宇宙用 Raychem®55/線材を用いた評価試験結果に基づいている。この電線は、電子線架橋を施した ETFE 電線であり、定格温度が 200°C（1 万時間の温度負荷に対し伸び：50%を維持する温度）であるものの、実装条件や温度サイクル等を配慮した保証値ではない。宇宙機への標準的な適用を想定した評価試験結果から得られた知見は、以下の通りである。同一の線材を束線し、当該の電線が自己発熱で 160°C を超えた場合は、被覆間が固着し、束線を解いた状態でも、線材がひと塊となる。

- ・ 同一の線材を束線し、当該の電線が自己発熱で 150°C となる条件に放置した場合は、被覆間に軽い結合があるものの、束線を解くと同時に個々の線材が独立となる。
- ・ 被覆に対し TG/DTA 分析を実施した結果からは、100°C 近傍に微小な物性の変化が認められる。
- ・ 結晶融点は約 236°C である。従って、定格温度の 200°C は、この結晶融点を加味して定めたものと推測される。
- ・ 被覆材に対して行った動的粘弾性測定 (DMA) では、160°C 付近を超えると緩やかに円周方向の膨張が見られ、結晶融点付近で急激な収縮（昇温時）が確認された。一方、被覆材長手方向は結晶融点近傍で急激に膨張した。150°C までの加熱サイクルでは、加熱に伴う緩やかな膨張が見られるものの被覆材料の弾性範囲での変形であり、機械的な負荷は小さい。さらに、一般的な ETFE（未架橋）の定格温度も 150°C であり、これを推奨温度とした。¹⁾

2. 宇宙環境因子による影響

宇宙用 Raychem®55/電線被覆材は、以下に示す紫外線による熱光学特性の劣化（太陽光吸収率の増加）、電子線による伸び量の低下、原子状酸素による侵食等の宇宙環境の影響を受ける。また、これら複合環境による相乗的な影響については、十分に把握できていないこともあり宇宙環境に直接晒されないよう熱制御材料等による遮蔽を推奨する。

(1) 紫外線

紫外線による材料への影響は、紫外線が到達する距離まで及ぶ（材料の紫外線吸収によって異なる）。紫外線照射によって直接反応を受ける他、これによって生じた活性生成物により、その周囲も影響を受ける。

宇宙用 Raychem®55/電線被覆材は、紫外線照射によって明らかに太陽光吸収率の増加が見られ、供試体の温度が高いほど顕著である。なお、赤外放射率の変化は見られない。

機械的特性への影響評価のため、常温 100ESD までの紫外線照射を実施した。紫外線照射のみでは、未照射品に対し伸びの減少は見られず、電子線→加熱→紫外線の順次環境負荷においては、電子線→加熱負荷と比較し、伸び量が大きくなる結果となった。紫外線による劣化は表面に集中し、劣化の小さい他の部分が機械的特性において支配的となり、変化が現れなかったものとする。

(2) 電子線

宇宙用 Raychem®55/電線被覆材は、電子線による架橋によって機械的特性を改善させているものであるが、吸収線量の増大につれ架橋のみならず、分子鎖切断の割合が増大して機械的強度が低下することになる。

NASA のケーブルセレクションガイドにおいて、More resistant to radiation effects.(to 5×10^7 RADS → 500 kGy)と記載されている。

JAXA では、25～200kGy までの電子線照射後、190℃×7 日間の熱真空曝露を行い、伸び量の変化をみた。未照射品では 150%あった伸び量が、200kGy 照射品では 60%程度となった。この値は、すぐに破断に至る伸び量でないものの、温度サイクルに伴う熱膨張・収縮によっても、被覆材の弾性範囲内となるような使い方が望ましい。

なお、被覆材の電子線照射による表面の色の変化は、1430kGy、試料温度 230℃の条件で明らかな褐色化が見られたものの、常温照射、かつ、それ以下の線量での照射では、軽微な変色のみであった。

(3) 原子状酸素

原子状酸素照射試験の結果から、その反応効率 (cm^3/atom , 原子状酸素 1 個当り消失する体積)は、 1.7×10^{-24} となった。これはフッ素系樹脂の多くが 0.1×10^{-24} 以下であるのに対し、ポリイミド ($1.5 \sim 3.0 \times 10^{-24}$)、ポリエチレン ($3.3 \sim 3.7 \times 10^{-24}$) の値に近く、フッ素系樹脂のような原子状酸素への耐性は期待できない。

原子状酸素存在量が多い低軌道曝露環境での使用する場合には、原子状酸素による被覆材の肉厚減少量（電気的特性、機械的特性等に影響）を考慮する必要がある。

(4) アウトガス

ASTM E595 によるアウトガス特性測定結果からは、

質量損失比 (TML) : 0.098%

再凝縮物質質量比 (CVCM) : 0.002%

再吸水量比 (WVR) : 0.025%

となっており宇宙用としての特性をそなえている。

付録Ⅱ 低減率取得試験

低減率を求めるために実施した試験データの抜粋を付録Ⅱに示す。5.2.2 項に示す低減率は、本試験データに基づき、中心温度が 120℃に達する電流値から設定している。120℃は、試験における誤差（最大 20℃）と実ハーネス実装等における予測できない誤差（最大 10℃）を根拠とした。

低減率取得試験結果を図Ⅱ-1～-4 に、その試験条件を表Ⅱ-1 に示す。

また、低減率取得試験から得られた結果を周囲温度の差異によって比較したものを図Ⅱ-5 に、信号線比率の差異によって比較したものを図Ⅱ-6 に示す。

表Ⅱ-1 低減率取得試験条件

図	供試体	周囲温度
図Ⅱ-1	電力線のみの束線	40℃
図Ⅱ-2	電力線のみの束線	60℃
図Ⅱ-3	電力線と信号線混在の束線	40℃
図Ⅱ-4	電力線と信号線混在の束線	60℃

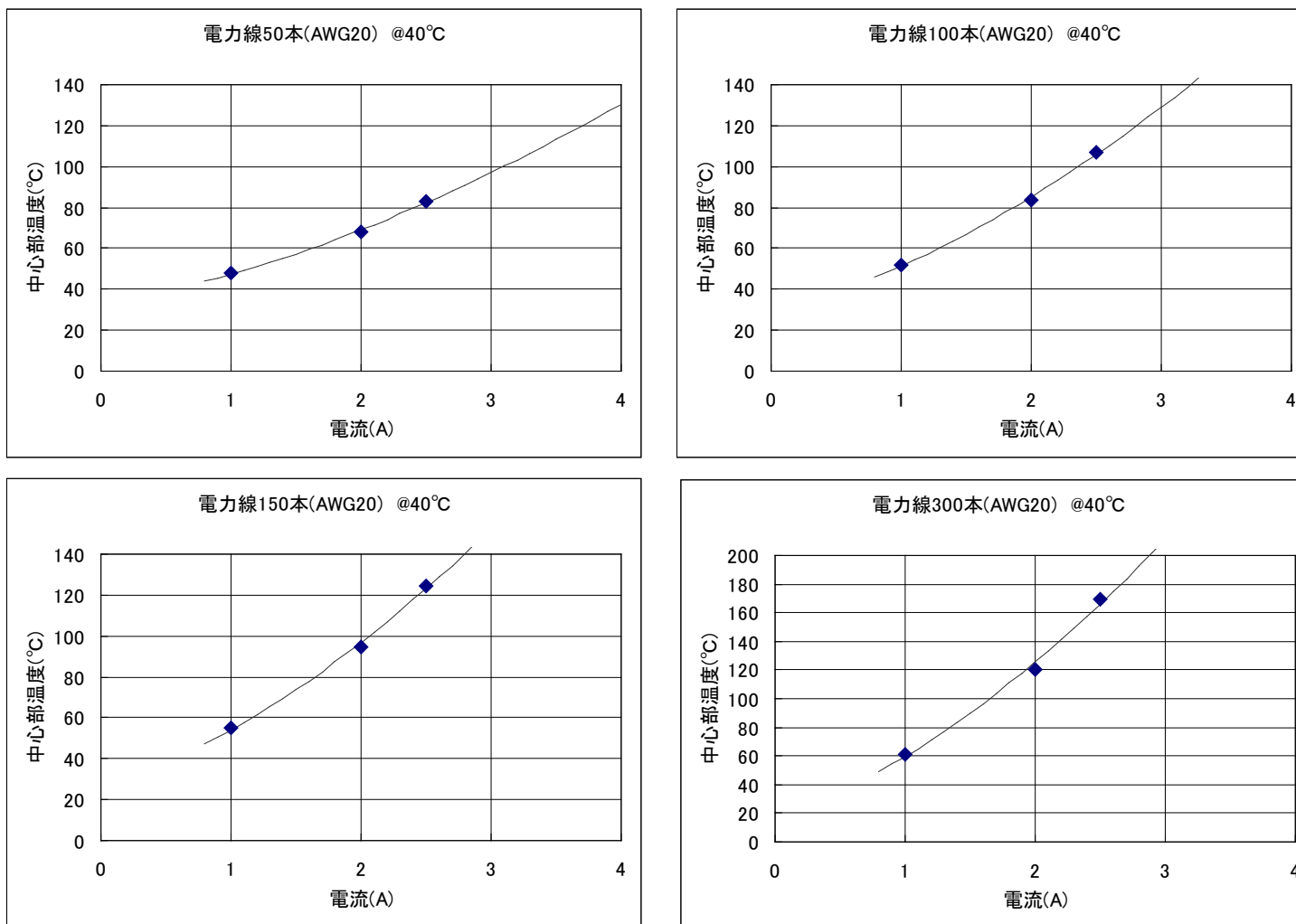


図 II -1 周囲温度 40°Cにおいて電力線のみ束線で実施した低減率取得試験結果

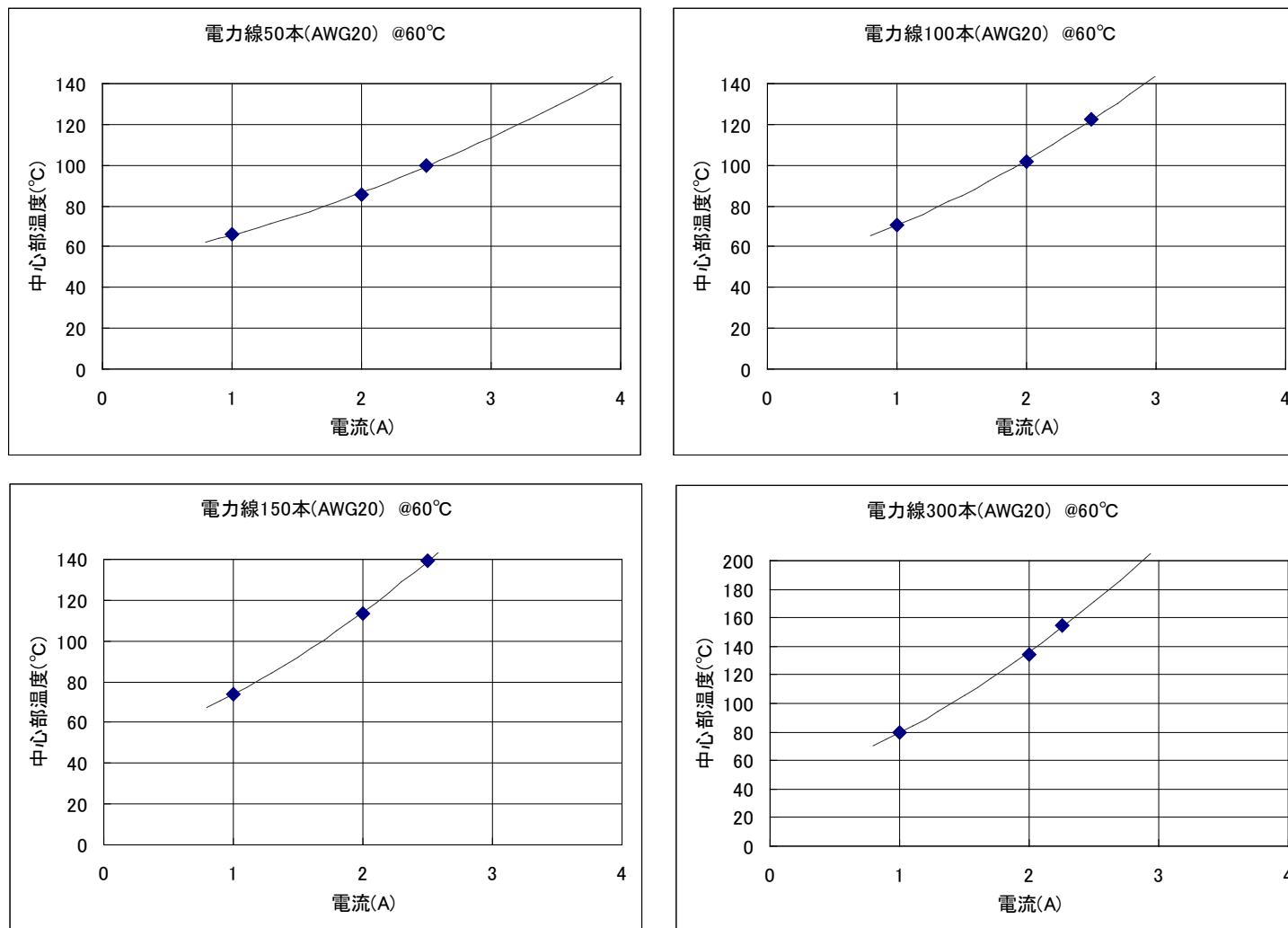


図 II -2 周囲温度 60°Cにおいて電力線のみ束線で実施した低減率取得試験結果

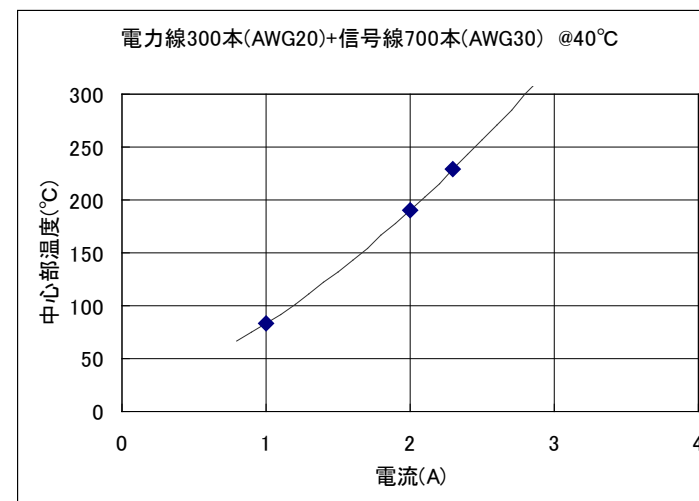
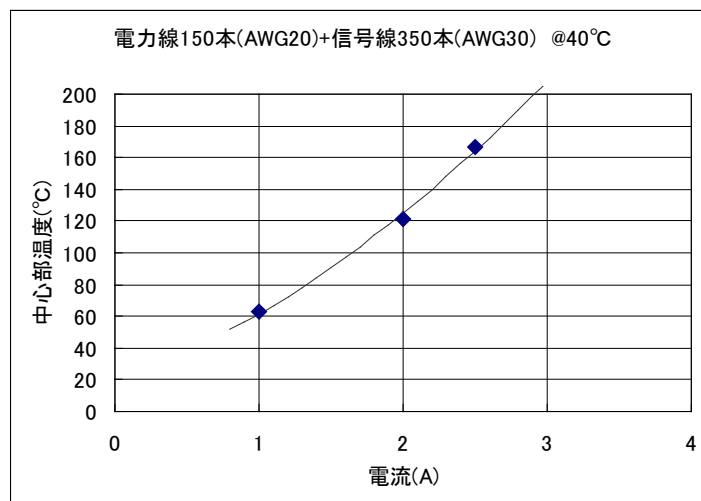
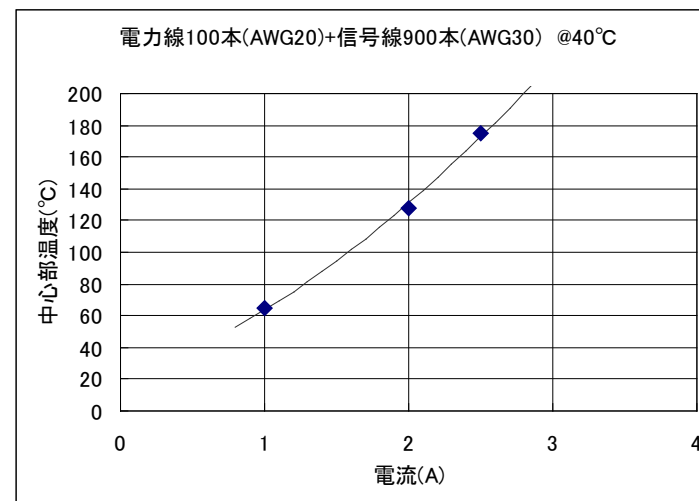
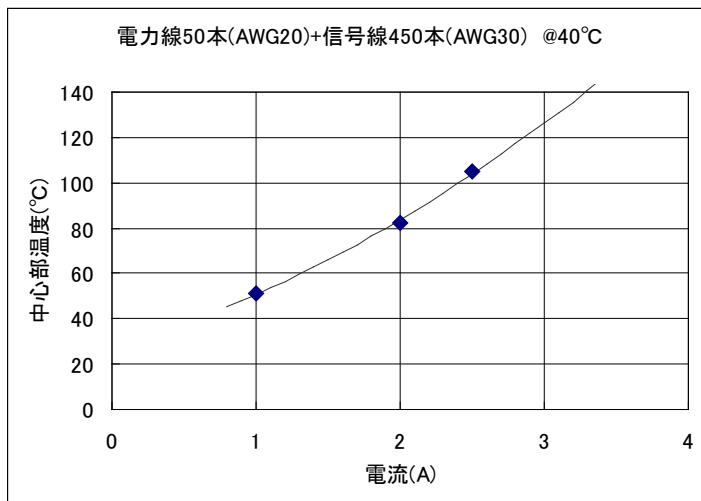


図 II-3 周囲温度 40°Cにおいて電力線と信号線混在の束線で実施した低減率取得試験結果

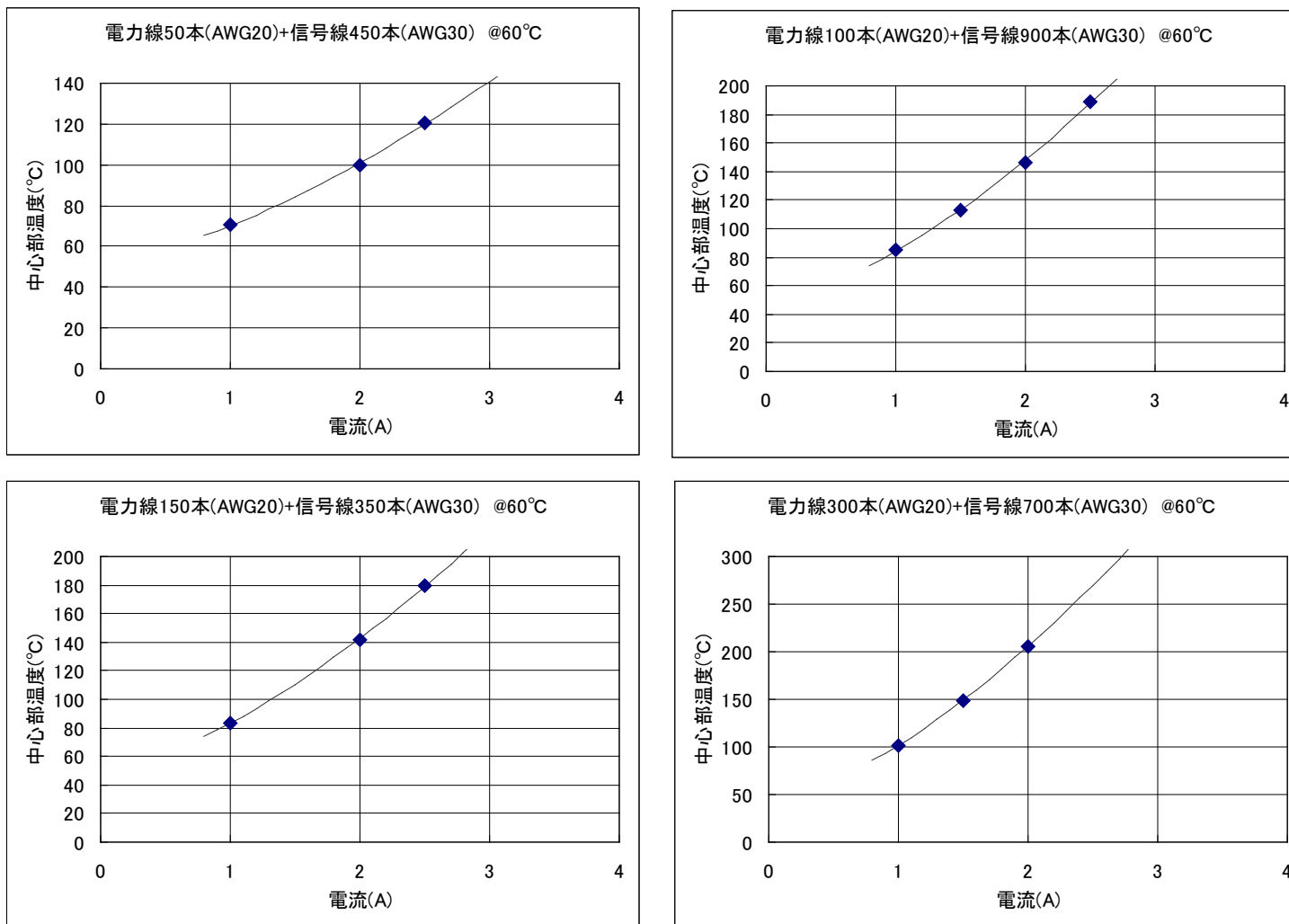


図 II-4 周囲温度 60°Cにおいて電力線と信号線混在の束線で実施した低減率取得試験結果

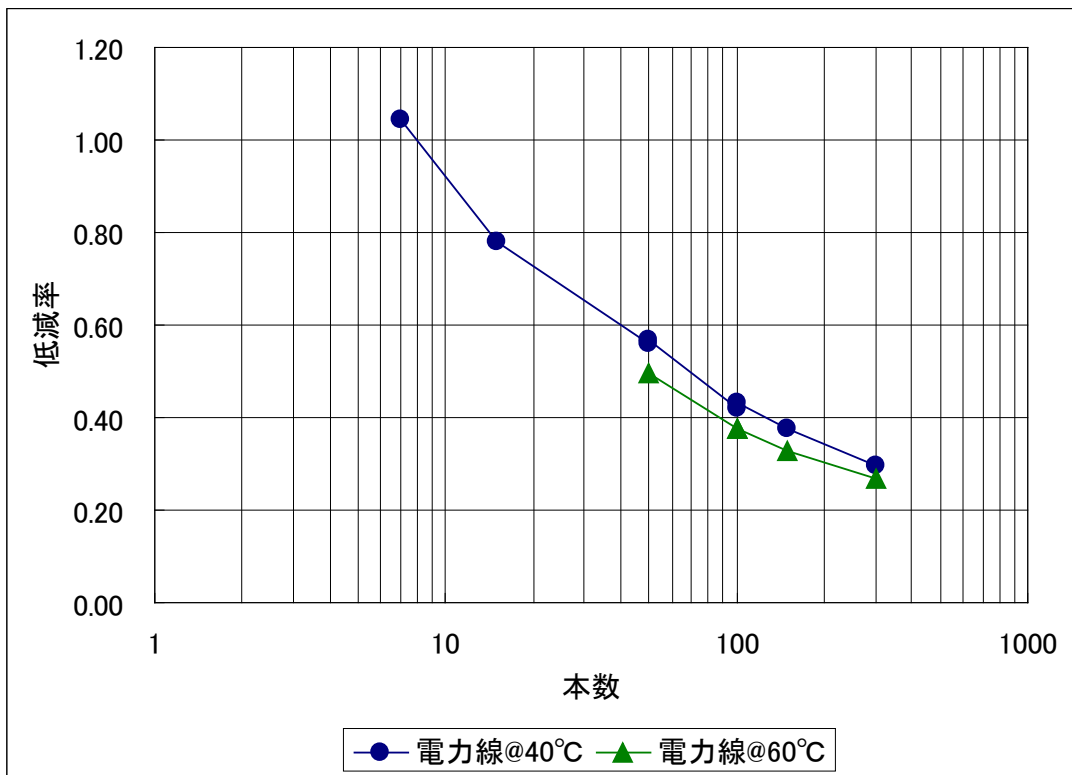
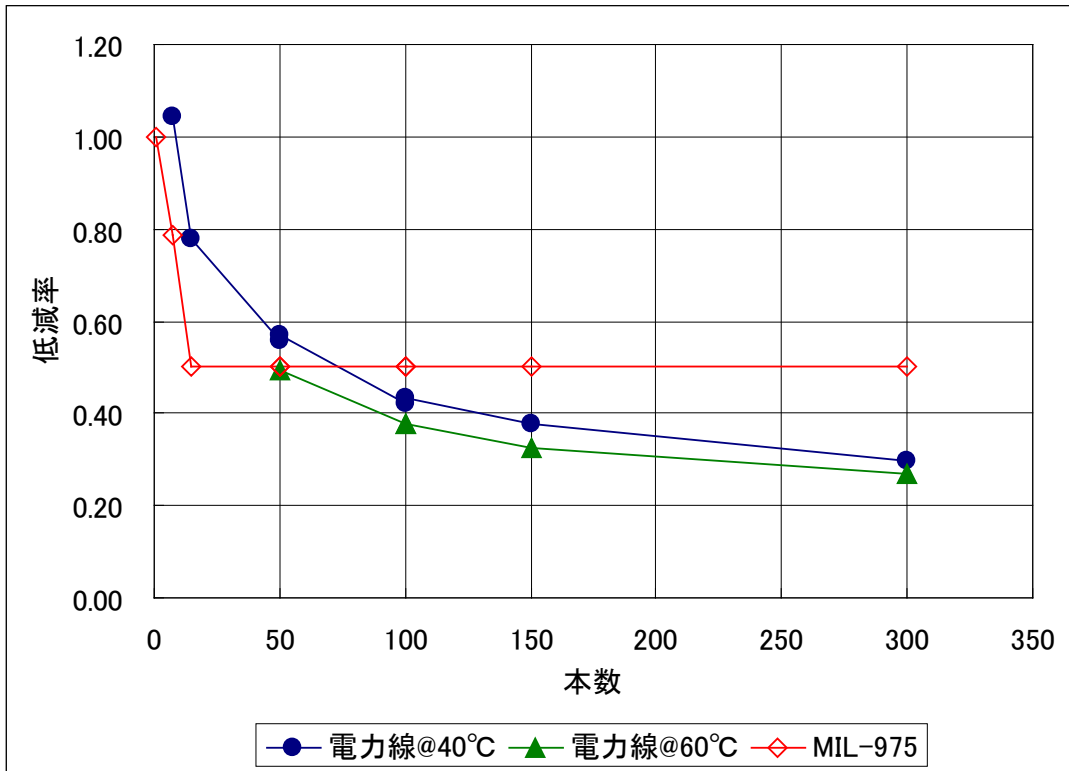


図 II-5 周囲温度の差異による比較

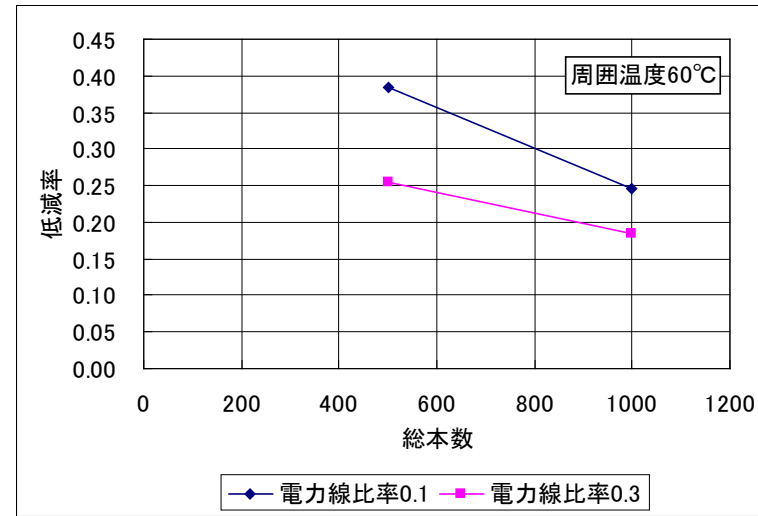
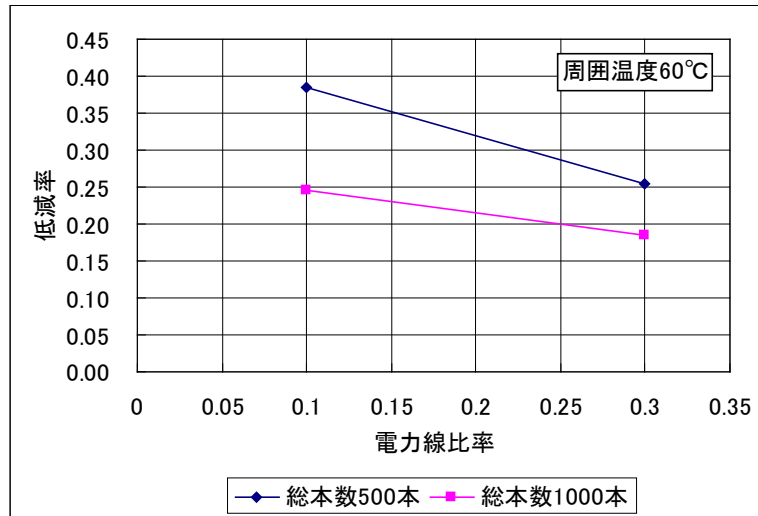
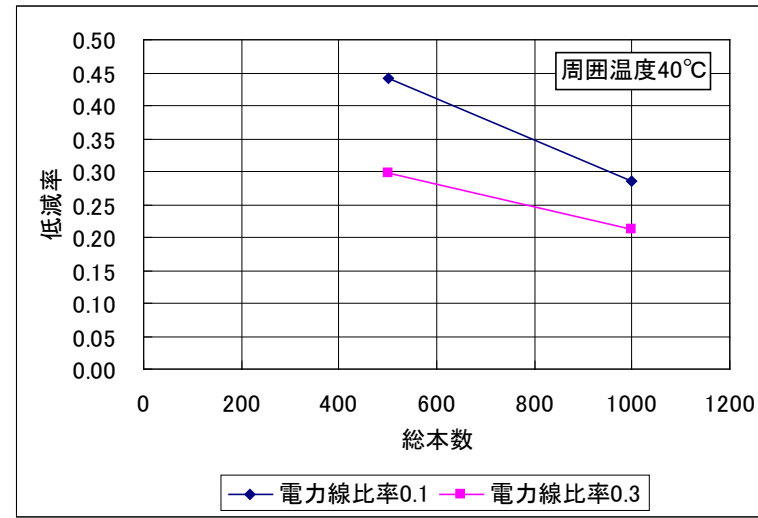
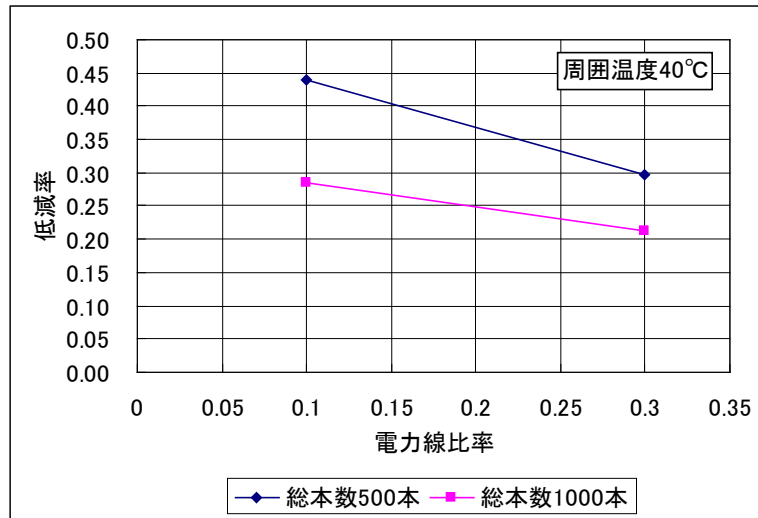


図 II-6 信号線比率による比較

(余白)

参考文献

- 1) 石澤 淳一郎他：ADEOS-II ハーネス熱サイクル検証，宇宙環境シンポジウム，(2005)