

Lifetime Evaluation on electric wires in UHV chambers

Noboru Kamachi^{1,A)}, Shinji Shibuya^{B)}, Akira Noda^{C)}, Hikaru Souda^{C)}, Hiromu Tongu^{C)}

^{A)} Toyama Co. Ltd.

4-13-16 Hibarigaoka, Zama, Kanagawa 228-0003, Japan

^{B)} Accelerator Engineering Corporation

3-8-4 Konakadai, Inage, Chiba 263-0043, Japan

^{C)} Institute for Chemical Research, Kyoto University

Gokasyo, Uji, Kyoto 611-0011, Japan

Abstract

In vacuum system, a lot of electric cables are utilized to transport the signals for various kind of applications, for example, to supply a certain voltage to electrode, and, to obtain electric signals from various monitors. These cables are used not only in a fixed figure but also in a flexible manner as typical case setting on a linear movement mechanisms. In this case, some of the cables must indispensably be bent following the movement of the fixed edges of the cable on the electrode.

Especially, for the case of a periodical movement typically produced by a motor, the cables suffer periodical loads, which cause the cables to be injured. Thus, it is important to know the dependence of lifetime on types of cabling systems. We have to select material, radius, and number of conducting wires, kind of insulators, etc, for cables in vacuum in order to obtain longer lifetime.

We have investigated behaviours of six different types of cabling systems under periodic movements, whose mechanics have been manufactured in our factory. We found there are large differences on behaviours among various types of cables. The details are reported in the present paper.

真空内導線の耐久性評価

1. はじめに

真空装置にはモニターや電極など、さまざまな用途で真空内の信号を得るための導線が使用されている。

特に、モニター等で定期的に往復運動する機器では、導線には繰り返し運動に伴う応力が負荷されるため、導線の耐久性が問題となる。

真空中の導線に断線や接触不良などが発生した場合、装置を大気開放する必要があり、多大な時間と労力を必要とする。

これらの装置においては、導線の材質や線径、本数、絶縁被覆の種類などによる耐久性を知った上で、使用する導線の選定を行う事が必要である。

今回我々は真空装置を設計製作する立場から、往復運動による導線への機械的負荷を模擬できる装置を製作し、その装置を使用して仕様の異なる6種類の導線についての耐久試験を行った。

この試験から、どの程度の回数でどの様に断線するかを検証し今後の装置の設計製造に反映させることを目的とした。

2. 耐久性評価方法

2.1 評価導線

評価を行う導線はφ0.5の銅単線を基準とし、入

手性、電気抵抗値、柔軟性、耐圧等を考慮して選定を行った。表1及び図1に選定した導線を示す。

番号	線種	絶縁	線径 [mm]	本数	断面積 [mm ²]	線長
①	銅単線	セミックベーズ	φ0.5	単線	0.196	250mm
②	4N純銀単線	セミックベーズ	φ0.5	単線	0.196	250mm
③	BeCu単線	セミックベーズ	φ0.5	単線	0.196	250mm
④	銀メッキ銅より線	セミックベーズ	φ0.18	19本	0.483	250mm
⑤	カプトン被覆より線	カプトン	φ0.18	19本	0.483	250mm
⑥	シリコン被覆より線	シリコン	φ0.26	7本	0.372	250mm

表1：評価導線仕様

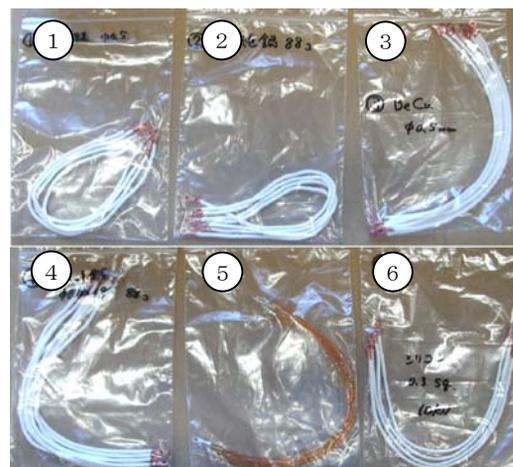


図1：評価導線

¹ E-mail: kamachi@toyama-jp.com

2.2 試験装置

耐久試験には図2に示すモータ駆動ステージを使用した。

上下端子台の間隔を100mmから200mmまで変化させ、30mm/secの速度にて往復運動を行った。モータコントローラの接点入力を用いて各導線が断線した場合の往復回数の記録を行った。



図2：試験装置

2.3 試験要領

- 1) 概観触診確認
目視及び触診を行い、各導線の状態及び柔軟性を確認。
- 2) 抵抗値測定(耐久試験前)
最小分解能 $10\mu\Omega$ のミリオームテスタを用いて耐久試験前の各導線の抵抗値を計測した。
- 3) 往復運動耐久試験
①～⑥までの各導線を各4本準備し、各3本は2万往復(1日5往復10年間使用した場合に相当)、各1本は5万往復の耐久試験を行った。
- 4) 抵抗値測定(耐久試験後)
耐久試験後、2)と同じ手順にて各導線の抵抗値

を計測し、耐久試験前後の抵抗値の変化を確認した。

5) 導線状態確認

耐久試験後のすべての導線について、拡大鏡にて導線の状態を確認した。

3. 試験結果と検証

3.1 概観触診確認結果

目視及び触診を行った結果、各導線について以下の特徴が見られた。

①銅単線及び②4N純銀単線は軟らかく、変形後元の形状に戻らない。特に②4N純銀線はこの傾向が強い。

逆に③BeCu線及び⑤カプトン線はバネ性が強く、硬度が高い。形状を維持しようとする力が強い。ただし、③BeCu線は線材の硬度が高いのに対しカプトン線はカプトン被覆の硬度が高い。

④銀メッキより線と⑥シリコン被覆線は上記の中間的な硬度と軟らかさであった。

3.2 耐久試験結果

表2に耐久試験結果を示す。

①銅単線及び②4N純銀単線は全て2万往復以下で断線したが、③BeCu線、④銀メッキより線、⑥シリコン被覆線は5万往復でも断線しなかった。

⑤カプトン線については4本中3本が5000往復前後で断線したが、1本については2万往復でも断線していない。

以下に各導線について検証した結果を示す。

線種	配線番号	断線回数(往復)				抵抗値				
		平均値	最小値	最大値	断線箇所	試験前		試験後		抵抗値変化量 [%]
						TC ON [mΩ]	温度 [°C]	TC ON [mΩ]	温度 [°C]	
① 銅単線 (φ0.5)	①-1 15212	13826	11603	15212	中間部	24.07	21.9			
	①-2 13313					24.85	22.1			
	①-3 11603					25.48	22.1			
	①-4 15177					24.44	22.1			
② 4N純銀単線 (φ0.5)	②-1 16694	14985	12896	16694	圧着端子部	21.02	22.5			
	②-2 125					20.91	22.5			
	②-3 15364				中間部	21.17	22.5			
	②-4 12896					20.89	22.5			
③ BeCu単線 (φ0.5)	③-1	2万往復で断線せず				128.50	22.5	129.00	20.9	0.39
	③-2	2万往復で断線せず				127.23	22.6	127.87	20.4	0.50
	③-3	2万往復で断線せず				128.23	22.6	130.00	19.0	1.38
	③-4	5万往復で断線せず				128.70	22.6	128.37	22.4	-0.26
④ 銀メッキ銅より線 (φ0.18×19)	④-1	2万往復で断線せず				9.02	22.7	9.10	21.0	0.85
	④-2	2万往復で断線せず				9.02	22.7	9.09	20.8	0.70
	④-3	2万往復で断線せず				9.05	22.8	9.12	19.2	0.81
	④-4	5万往復で断線せず				9.07	22.8	9.16	22.5	1.03
⑤ カプトン被覆より線 (φ0.18×19)	⑤-1 4521	5568	4521	6754	圧着端子部	11.89	22.8			
	⑤-2 2万往復で断線せず					11.87	22.9	12.01	21.1	1.21
	⑤-3 6754				圧着端子部	11.90	22.8			
	⑤-4 5429					11.90	22.9			
⑥ シリコン被覆より線 (φ0.26×7)	⑥-1	2万往復で断線せず				12.38	22.9	12.58	21.0	1.56
	⑥-2	2万往復で断線せず				12.42	23.0	12.61	21.2	1.50
	⑥-3	2万往復で断線せず				12.37	23.0	12.49	19.2	1.00
	⑥-4	5万往復で断線せず				12.41	23.0	12.91	22.4	4.06

*4N純銀の②-2については、回数が少ないため断線回数の平均値等の算出には未使用

*カプトン線の⑤-2については、断線しなかったため断線回数の平均値等の算出には未使用

*抵抗値及び温度については3回計測した平均値を記載

表2：耐久試験結果

3.3 銅単線(セラミックビーズ被覆)

銅単線は11000~15000往復で全て中央部から断線している。銅単線では絶縁材としてセラミックビーズを使用しており、このビーズの間隔と同間隔で傷が発生している。

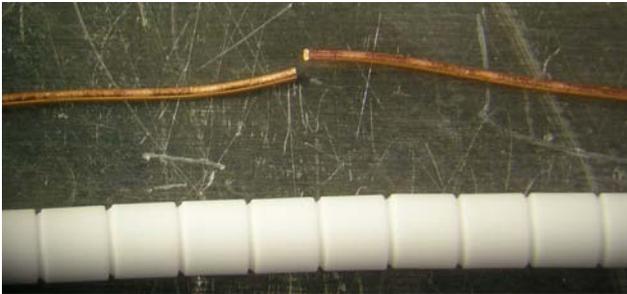


図3：銅単線のセラミックビーズによる等間隔の傷



図4：銅単線の断線部と傷の状態

ただし、この傷の間隔とは異なる場所が断線しており、この傷が断線の直接的な原因ではないようである。

断線が発生した場所は4本すべて応力の変化が大きい中央部付近であるため、ビーズの有無に関わらず動きの集中する部分から断線する可能性がある。

3.4 4N純銀単線(セラミックビーズ被覆)

4N純銀線は13000~17000往復で断線し、銅単線と同様のビーズによる傷が見られる。

銅単線と異なるのは、1本が125往復で断線した点と2本が圧着部からの断線した点である。

純銀線は軟らかいため、圧着端子を取り付ける際

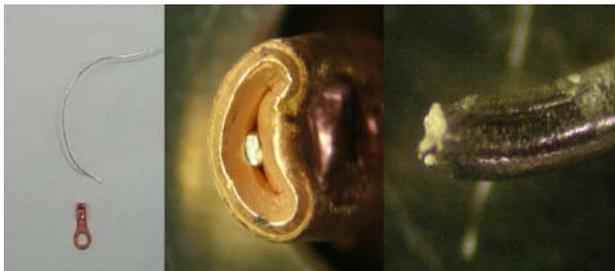


図5：純銀線の断線部

に大きく変形し、そこから断線したものと考えられる。圧着器は通常より線を圧着するための工具であるため、今回のように材質の軟らかい単線を使用する場合は圧力に十分注意する必要があるものと思われる。

3.5 BeCu単線(セラミックビーズ被覆)

BeCu線は2万往復、5万往復共に断線がなかった。銅線や純銀線同様にビーズによる一定間隔の傷は発生しているが、傷も浅く断線の可能性は低いと考えられる。



図6：BeCuの傷

BeCu線は硬くバネ性が強い。他の導線は圧着部及び中央部付近の大きな塑性変形が見られるが、BeCu線はこの塑性変形が見られず弾性的に変形していた。

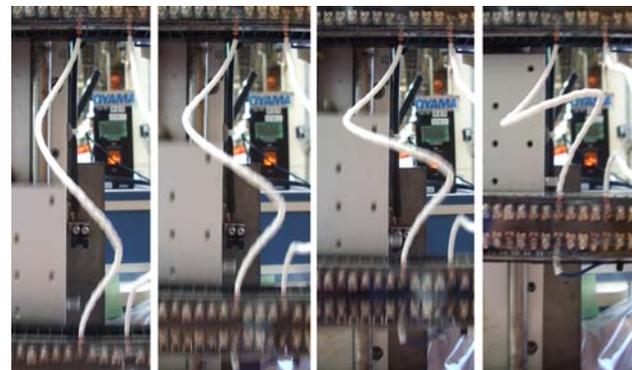


図7：BeCu線の動き

BeCu線は十分な耐久性が得られたが、線が硬いことにより、精度が必要な駆動部では動きに影響を与える可能性がある。また、導線が動く際に十分なスペースが必要であるため、狭いチャンバー内での使用は不向きである。

抵抗値の耐久試験前後での値の変化は1%未満と少ないが、ベースの抵抗値が129mΩと他の導線に比べて高く微小電流や高圧での使用の場合は注意が必要である。

3.6 銀メッキより線(セラミックビーズ被覆)

銀メッキより線についても、2万往復、5万往復共に断線がなかった。他の導線同様、ビーズによる一定間隔の傷は見られるもの、表面の4~5本に傷が付く程度であった。

耐久試験前後の抵抗値の変化量は1%程度の増加であり、耐久性、抵抗値、入手性などの点から今回評価した導線の中では最も有効な線材である。



図 8 : 銀メッキより線の傷

3.6 カプトン被覆より線

カプトン線は現在さまざまな真空装置の中で実用的に使用されている。線径及び本数は前項の銀メッキ銅より線と同じであり、被覆にカプトンを使用することで、セラミックビーズによる傷が発生しないため、真空内導線として有効であると考えていた。

しかしながら、今回の耐久試験の結果、1本は2万往復で断線しなかったが、残りの3本は銅単線よりも早く4500~7000往復で圧着部から断線した。耐久試験での導線の動きを見ると、カプトン被覆部は硬いため動きが少ないのに対し、圧着部付近の被覆を剥がした部分は柔らかいため動きが集中してい



図 9 : カプトン線の断線部

た。この部分的な動きの集中が断線原因の一つであると思われる。

また、カプトン線の中には被覆の境目部分での傷や断線が見られた。カプトン線は被覆の除去が難しく、一般的に使用されるワイヤーストリッパーなどで除去した場合、被覆だけでなく導線自体にも断線につながる傷が発生する可能性がある。

圧着部の処理や圧着部に負荷がかからないような配線方法などにより断線のリスクを低減させること

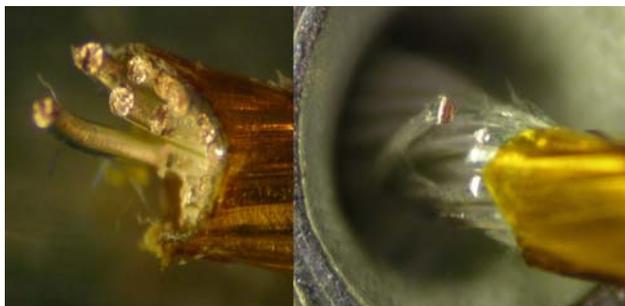


図 10 : カプトン被覆処理時の傷による断線

は可能であると思われるが、被覆部が硬くBeCu線同様精度への影響や狭いチャンバー内での使用などの問題が考えられる。

また、超高真空内での使用の場合はセラミックビーズと比較すると、カプトン被覆からの脱ガスの影響が大きいため、より長い時間のベーキングが必要となる。

3.6 シリコン被覆より線

シリコン被覆より線についても2万往復、5万往復共に断線がなかった。

カプトン線同様セラミックビーズを使用していないため、一定間隔の傷は発生していない。

5万往復分については、耐久試験後に抵抗値が4%増加した。5万往復の圧着部を拡大鏡で観察したところより線の1本が断線していることが確認されており、これが抵抗値増加の原因だと思われる。

シリコン被覆線については入手性の問題から他のより線よりも線径が太く本数が少ない。線径が太い場合、同じ角度に曲げた場合でも加わる応力が大きく断線しやすい。また、断線した場合、本数が少ない分抵抗値に与える影響が大きくなる。



図 11 : シリコン被覆処理時の傷による断線

また、超高真空内での使用の場合はカプトン線同様、使用しているシリコン被覆の脱ガスやエア溜りなどについて検証する必要がある。

4. まとめ

今回の耐久試験の結果、各導線が具体的に何回程度の使用で断線するかを検証することができた。

駆動頻度の高い部分で使用する場合は、耐久性、柔軟性、真空に対する影響などの点から、セラミックビーズ被覆を使用した銀メッキ銅より線φ0.18×19が最も有効であると考えられる。

真空装置の設計製造の際、駆動部の使用頻度やチャンパーサイズ、真空度などの点から適切な導線を選定するための重要な情報を得ることが出来た。

参考文献

- [1] S.Shibuya, et al., "Repetitive driving tests on electric wires used in UHV chambers", The Eleventh Accelerator and Related Technology for Application, June 11-12 2009