「GENESEED system」高信頼配線技術の検証

一戸　均（いちのへ　ひとし）　　中村　靖（なかむら　やすし）

1　まえがき

近年，ダウンサイジングを目的とした高密度実装が盤製作の場面でも課題となってきており，その高密度設計の切り札的存在が押締端子である。また，ダウンサイジングとは別に盤内機器調達のグローバル化により海外メーカーの部品を採用することも多くなっている。さらに，国内メーカーも押締端子の適用が増えている。すなわち，ものづくりの立場からは今後は押締端子を採用せざるを得ない状況といえる。

一方，ユーザーの立場からすれば，押締端子に対する情報が少ないことによる不安があるのも事実である。不安の中でも最も大きいものはその構造から連想される端子の脱落であり，棒状の端子をねじで挟み込む方式は不安を感じて当然である。

「GENESEED system」では盤内部の配線に押締端子を採用するのに際してメーカーから提出された資料の確認評価だけではなく，実際にJIS規格と同様の評価試験を実施したうえでその信頼性を確認している。

ねじ締め締結体のトラブルの主要因は，締付け不良43％，ゆるみ20％，疲れ破壊12％であり，75％が締付けにかかわる原因との調査がある（日本ねじ研究協会）。したがって，調査・確認試験においては，締付けの構造，ゆるみの対策にポイントを置いて実施した。

確認の結果，押締端子の機能は，ねじ端子と同等，かつ，ゆるみに関しては，より考慮した設計になっていることが分かった。ここではその内容について報告する。

2　押締端子と棒状端子（スリーブ端子）の構造

押締端子の構造は端子メーカーそれぞれが独自の特許構造をとるなどで業界内の競争を展開している。

ここでは代表例としてJIS C 2811で定義されている押締端子と，それとは構造の異なる例を紹介する。

2.1　クランプケージ方式（かかえこみ方式）

図1において，①締付けねじを締めると②クランプケージが上昇し，③接触導体とで挟み込むことで端子を固定する方式である。

〈ゆるみ防止の工夫〉

箱形の②クランプケージは，焼入れした鉄や高品位銅合金製であり，それ自体がばね性を持つ。箱体がねじの締付けによって上下に引かれるとき，箱側面がわずかに収縮し，ばねの反発でねじ溝を押す力が生まれ，ゆるみ防止となる。

また，クランプケージのばね性は温度変動による電線径の変動も吸収する。

図1　クランプケージ方式押締端子の例

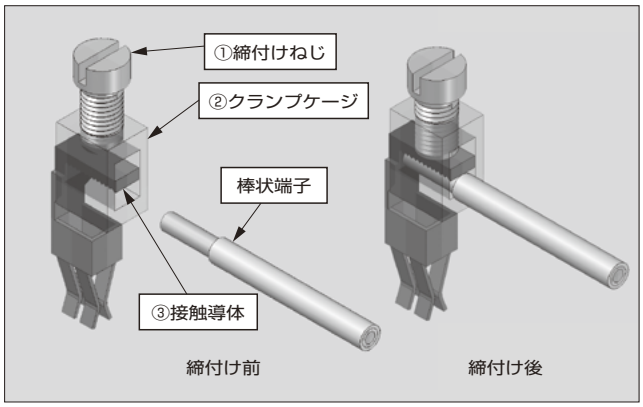
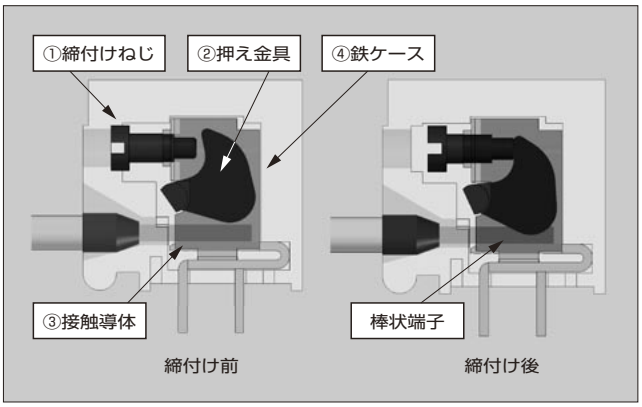


図2　押え金具方式押締端子の例



一戸　均

情報制御システムの電源・周辺装置およびキャビネット設計業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社生産本部東京工場品質管理部担当課長。

中村　靖

水処理部門のプロジェクト管理業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社環境システム本部水処理統括部GENESEED技術部長。

表１　押締端子の材質

部品名	素　材	表面処理	腐食試験規格
締付けねじ	鉄	青色クロメート 三価クロメート 銅＋ニッケル	DIN50018 DIN VDE 0627 IEC60068-2-42 IEC60068-2-46 IEC60068-2-52
押え金具・クランプ	鉄	三価クロメート	
接触導体	銅合金 CuSn CuZn0.5 CuZn39Pb2	スズめっき 銅＋ニッケル	
スリーブ端子	銅	スズめっき	

この方式の派生としてクランプケージの箱の天井部分を閉じずに，より箱体がばね性を持つようにしたものがある。また，②接触導体をリン青銅合金としばね性を持たせ，ねじ締付け時にねじの先端部を押し上げる方向に反発する構造にしてゆるみを防止するものもある。

2.2　押え金具方式

図 2 は押え金具方式における押締端子の配線前と配線後の状態を表したものである。この方式は樹脂ハウジングの中に，④鉄ケースがあり，③接触導体は④鉄ケースに固定されている。①締付けねじを締めると②押え金具により，てこの原理で端子を③接触導体に押え付ける。

ケース部分はクランプケージと同様にねじの締め込みに対してばね性を持って変形し，ゆるみを防ぐ。

2.3　棒状端子（スリーブ端子）

棒状端子とは，筒状・棒状の端子で，電線（より線）のばらけ・過度の応力による断線防止，外気遮断による環境対策となる。電線の被覆をはぎ，筒状の端子をかぶせ，専用圧着器でかしめて固定する。（**図 1**，**図 2** 参照）

2.4　素材および表面処理

今後，プラントへの適用の場面で耐腐食性を考え，試験対象の素材および表面処理について調査を実施しまとめたものが**表 1** である。適合する腐食試験の規格によると，亜硫酸ガス，二酸化硫黄，硫化水素，塩水噴霧などの評価をしていることが分かる。

3　押締端子とねじ端子の比較

電子装置において端子台の目的は，電線を確実に固定し，安全に電気を流すこと，信号を伝えることである。そのため，ねじのゆるみがなく，長期接続が安定していること。また，経済的な観点から，小型，軽量，集積度，部品コストが検討される。

3.1　押締端子のメリットとデメリット

〈メリット〉

(a)　高密度実装に適する。

(b)　ねじが樹脂ハウジング内にあり，ねじ脱落がない。

表２　ねじのゆるみの要因と対策比較

ボルト・ナットの例			電子装置の端子台とケーブルの関連		
緩みの要因と解説		対策例	要因の有無	ねじ端子	押締端子
ナットが回転しないで生じるゆるみ	**接触部の小さな凹凸のへたり** 圧接している接合部表面の微小な凹凸が締付け後の外力変動などでへたった場合。	ばね座金	あり 共通要因	ばね座金	締付けクランプの変形によるばね性反発力
	締付け部材への陥没 対象が軟らかい場合に接触部の面圧で対象面が変形陥没する。	平座金	少ない 対象が金属	対象は丸端子のアルミ素材	対象は押え金具の鉄素材
	ガスケットなどのへたり	増し締め	なし	－	－
	接触部の微動摩耗 接触部，特に締付け部材の接合面が外力によってすべり，摩耗してへたる。	締付け力の強化	あり 装置，建屋の振動	締付け力	締付け力
	温度変化の繰返し ボルトと締付け部材の膨張係数が違う場合，温度により締付け力が低下する。	締付け力の強化	あり 周囲温度の変化，電流による発熱	締付け力	クランプのばね性で吸収
	高温に加熱（500℃前後） 炭素鋼が再結晶し，残留応力が消失。	規定外	規定外	－	－
	過大外力が加わる ボルトの弾性限界を超える過大な外力による降伏。	規定外	規定外	－	－
ナットが回転して生じるゆるみ	**軸回り回転の繰返し** はさみの軸，めがねのつるなどの回転モーメント。	フランジ付きナット	線材がねじと直角な面で回転する場合	線材に力がかからないよう拘束	ねじと線材は接触しないため影響なし
	軸直角方向の外力繰返し ボルト軸直角方向の外力により接合部，ボルト/ナット頭部座面がすべり戻り回転する。	ダブルナット・ナイロンナット・接着材	線材がねじと直角方向に引っ張られる場合		
	軸直角方向の衝撃力繰返し		なし	締付け力 ばね座金	締付け力 クランプのばね性
	軸方向の外力繰返し		装置の振動		
	軸方向の衝撃力繰返し		なし		
	慣性トルクによるゆるみ 扇風機の羽根固定部など回転停止による回転モーメント。	左ねじ	なし	－	－

[表の解説]
ボルト・ナットを例にして部材を締め付けたときのゆるみの要因と対策例である。これら要因と，電子装置に使用する端子台と電線を締め付けた場合の関連をあげ，ねじ端子と押締端子の差異を示す。

(c)　カバーがなくても金属部分に人が直接触れにくい。

(d)　ばね性がある構造でありゆるみが少ない。

(e)　電線と締付けねじが直接接していないため，電線に外力が加わった場合でもねじには外力が伝わらずゆるみの要因が減る。

〈デメリット〉

(a)　締付け状態確認を目視で行いにくい。

（クランプケージ方式の場合：ねじを締めた場合でも

ねじの位置が変わらないので締付け状態が見えない）

(b)　JIS と異なるレベルのトルク管理が必要である。

(c)　電線番号の表示チューブ脱落止めが必要である。

3.2　ねじのゆるみに対する比較

ねじを締め付けるとき，締付けトルクとねじに掛かる力は次の関係（概略の配分）で表せる。

締付けトルク（100％）＝ねじ張力（10％）＋ねじ面の摩擦（40％）＋座面の摩擦（50％）

ここで，ねじ張力は被締付け材の圧縮力（反発）とつり合い，2 か所の摩擦はねじがゆるまないよう固定する力となる。

なお，座面とは，ねじ頭が被締付け材と接する面をいう。

初期のねじ張力が，低下することを「ゆるみ」という。ゆるみに対する最善策は，初期締付け力を高く設定し，適切な締付け管理の下に，設定された高い締付け力を与えることである。ねじゆるみの要因を**表 2** にまとめる。

端子台を想定した場合，「ナットが回転しないで生じるゆるみ」は，初期締付け力を高く設定して対策できる。

「ナットが回転して生じるゆるみ」の分類で，「軸回りの回転の繰返し」，「軸直角方向の外力繰返し」については，被締付け材である電線が外部から引かれる張力，回転方向（ねじを戻す方向）の力に相当する。

従来のねじ端子は，電線を圧着した丸型端子を，ねじで直接締め込むため電線にかかる張力，回転力が直接ねじに伝わりゆるみの要因となる。構造設計で電線を固定するように配慮するが，部品自体には構造的なゆるみの要因が存在する。

一方，押締端子は，2章の構造で見たとおり，ねじと電線が直接接触しない。接触導体を介して力をかける，または押え金具を介して電線を押さえるため，電線にかかる外力は，ねじゆるみに対して影響が小さいことが分かる。

振動，衝撃については共通する問題であるが，押締端子はクランプ構造体がばね性を持ち，ねじを押さえ込むため，ねじ摩擦を保持する。一方，従来の端子台ではばね座金は，ゆるみ止めに効果がないといわれる。ばね座金の効用は，ゆるんだ後に，ナットの空回りを防ぎ，ナットや座金の脱落・紛失を防止することにある。

以上から，ねじゆるみについては，従来のねじ端子に比べ，押締端子のほうがよく研究され，構造・機構として対策が施されている。また，構造を見ると，押締端子は，ねじ座面の摩擦を利用していない。座面摩擦を利用せず，ねじ摩擦と，ねじ張力＝材料の反発力＋クランプ構造のばね性，の分担を増やす設計となっている。

4　評価試験項目と評価対象の選択

日本国内では，端子台に関する規格として JIS C 2811「工業用端子台」（1995）があり，形式検査として，次の 13 項目の試験を決めている。

「①構造　②温度上昇　③絶縁抵抗　④商用周波耐電圧　⑤インパルス耐電圧　⑥短時間耐電流　⑦ヒートサイクル　⑧電圧降下　⑨強度　⑩耐振動性　⑪耐衝撃性　⑫耐寒及び耐熱性　⑬耐湿性」

これに対応する国際規格は次の二つである。

表 3　規格と評価試験の対応

試験項目	JIS規格	IEC規格
温度上昇	C 2811	60999
ヒートサイクル		60512-2 60068-2-2
電圧降下（接触抵抗）		60512-2 60999
締付け強度		60512-10-4 60999
引張強度		60512-10-4 60999
耐振動		60068-2-6

図 3　トルクドライバ

表 4　押締端子の試験サンプル

No.	サンプル装置名称	端子形式	極数	ねじサイズ	端子規定トルク（Nm）	JIS規定トルク（Nm）
1	IM153	FRONT 2,5-H/SA5	5	M2.5	0.5～0.8	0.4
2	電源モジュール	FRONT 2,5-V/SA5	8	M2.5	0.5～0.8	0.4
3	プロフィーバス　ターミネータ	LMT5.08/180	5	M2.5	0.5～0.8	0.4
4	ESM-ITP80	Type 13	6	M3.0	0.5～0.8	0.5
5	S7-300フロントコネクタ　20Pin	6ES7 392-1AJ00-0AA0	20	M3.0	0.4～0.7	0.5
6	S7-300フロントコネクタ　40Pin	6ES7 392-1AM00-0AA0	40	M2.5	0.4～0.7	0.4
7	S7-400フロントコネクタ　48Pin	6ES7 492-1AL00-0AA0	48	M2.5	0.6～0.8	0.4

表 5　試験結果

試験項目	方　法	条　件	判定基準	結　果
温度上昇	試験電流を流し，温度一定となるときの中央極の電線接続部に近い部分の温度上昇値を測定する。	試験電流：サンプルNo.6は 7 A，その他は 16 A	温度上昇分45℃以下	合格：サンプルNo.1と4が最大で42℃，他は34℃以下。 7品種7端子の平均温度上昇は35.57℃
ヒートサイクル	試験電流を規定条件にて断続通電し，導電金具の電線接続部に近い部分の温度上昇値を測定する。	試験電流：サンプルNo.6は 11 A，その他は 30 A 通電/通電休止時間：45分/45分	125回後の温度上昇値が25回後の温度上昇値に対して+8℃以下	合格：温度差の順に，No.2が6.7℃，No.1，3が5.1℃，No.4が4.9℃ 7品種38端子の平均温度は，25サイクル後73.74℃，125サイクル後76.30℃，その差2.56℃
電圧降下	試験電流を規定条件にて通電し，導電金具の電線接続部に近い部分の電圧値を測定する。	試験電流：サンプルNo.6は 0.7 A，その他は 1.6 A	①試験前の電圧降下3.2 mV以下 ②試験後の電圧降下が，試験前に対して150％以下	合格：サンプルNo.6が最大で， ①試験前電圧降下は，2.02 mV ②試験前後の増加割合は，2.97％ 7品種34端子の平均電圧降下は試験前1.236 mV，試験後1.2378 mV，その差は0.001 mV
締付け強度	規定条件にてねじ締め，緩めた後に各部の変形，破損などを確認する。	締付けトルク：No.5，6が0.4 Nm，No.7が0.6 Nm，他は0.8 Nm	各部の変形，破損なきこと	合格：変形破損なし
引張強度	端子台に接続した電線に引張力を加え，各部の変形，破損などを確認する。	締付けトルク：No.5，6が0.4 Nm，No.7が0.6 Nm，他は0.5 Nm 引張力50 Nを ①電線の挿入方向と逆方向， ②機構的に弱い方向にかける。 引張力が規定値に達した後1分間保持する。	各部の変形，破損なきこと	合格：変形破損なし
耐振動性	端子台を加振し，ねじのゆるみ，絶縁体の破損の有無を確認する。	締付けトルク：No.5，6が0.4Nm，No.7が0.6Nm，他は0.5 Nm 振動：周波数10～55 Hz， 振幅1.5 mm，掃引時間1分/往復， 3軸方向，各2時間 端子台の反対側電線は振動による張力が加わらないよう固定する。	各部の変形，破損なきこと，およびねじのゆるみなきこと	合格：変形破損なし

共通条件，使用電線径：サンプルNo.6は0.5 mm^2，その他は1.25 mm^2

(1)　IEC60947-1（1988）：低電圧開閉装置および制御装置－第 1 部：一般規則

(2)　IEC60947-7-1（1989）：低電圧開閉装置および制御装置－第 7-1 部：補助機器－銅線用端子台

しかし，IEC 規格制定以前の製品，製品形体（端子台・コネクタ）の違い，また，試験項目に応じて，端子メーカーは各社さまざまな規格を採用している。試験に関する規格の対応表を**表 3** に示す。

富士電機では，前項で比較した端子台の確認評価として，6 項目の試験項目を決め，4 社 7 種の押締端子に対して試験を実施した。試験対象とした押締端子サンプル 7 種の形式と仕様を**表 4** に示す。押締端子は，規定トルクを JIS より大きく設定していることが分かる。**図 3** に規定トルクでねじ締めするトルクドライバを示す。

5　評価試験の結果

試験結果を**表 5** に示す。

結果を総括すると，押締端子に適合する電線の径に応じて JIS C 2811 に従った条件では，すべての試験項目で判定は「合格」であった。引張試験で限界を試したところ，押締端子が外れずに線材が切れた。

温度上昇に関しては，基準を満たしたものの上昇値が大きかったものもある。構造から見て，金属部分の形状が小さく，樹脂モールドに包まれているため，放熱面で不利だと考える。大電流を流す用途には注意を要する。

6　あとがき

富士電機では，構造・素材の調査，評価試験を通じて，押締端子の特性を評価し，十分に水処理プラントに適用可能であることを確認した。また，トルク管理，適した道具の使用が重要であることを認識し，作業基準を作成し，製造現場での品質向上を図っている。

現在，GENESEED system では盤内部の配線に押締端子を採用しているが，今回の検証を基に，今後さらなるダウンサイジングを要望するプラントについては，外部との接続部分にも押締端子の採用を拡大していく所存である。

参考文献

(1)　山本晃．ねじ締結の原理と設計．養賢堂．1995.

(2)　山本晃．ねじのゆるみ機構について　日本機械学会論文集 C. vol.81, no.716, 1978, p.617-622.

(3)　佐瀬直樹ほか．ねじ締結体のゆるみ機構の解析とゆるみ試験法の開発．日本機械学会論文集 C. vol.62, no.596, 1996, p.1527-1532.

(4)　林雅彦．最近のゆるみ止めナットと適用のポイント．機械設計．vol.50, no.1, 2006, p.46-49.

e-Front runners

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。