



「接点可動型大電流切替器」の開発と大電流機器

北 昌 宏

Developed of Movable Contact Switch for Large Current and Related Equipment — by Masahiro Kita — We specialize in manufacturing and installation of large DC current conductors and related electrical equipment.

This time, we have developed a movable contact switch which enables automatic switching of large current conductors in graphite product manufacturing. This user-friendly switch simplifies heat expansion absorption processes compared with water cooled cable, and thus, shortens the time required for switching operation and reduces equipment costs.

Keywords: large current, movable contact switch, conductor, flexible disconnecter, graphitizing furnace

1. 緒 言

黒鉛製品は、乾電池や製鋼用電気炉の電極、シリコンウェハー、単結晶シリコン製造時の坩堝、車のブレーキやクラッチ材料等に幅広く使用されており、特に近年はリチウムイオン電池の添加剤にも使われる等、黒鉛製品の用途は年々、拡大している。

一方、国内において、小口径の製鋼用黒鉛電極は中国製品にシェアを奪われ、国内黒鉛電極メーカーは製鋼用でも大口径製品やファインカーボンと呼ばれる高品質な製品に特化した設備投資を行い、更には原価低減のため省人化にも取り組んでいる。

黒鉛電極は、原料であるコークス等を固めたものを黒鉛化炉で大電流を通電し約3,000℃まで加熱しその後、時間を掛けて自然冷却することで再結晶化（黒鉛化）し製造される。

このため、自然冷却をする際は電源を必要とせず、加熱時のみ電源が必要なため、数多く設置された黒鉛化炉に於いても通常、加熱用電源装置は1つしかなく、加熱後の自然冷却の時間に他の炉に電源を移動させ加熱を行う工程を繰り返すことで連続的な操業を行っている。

本書では、従来各炉への電源接続と切離しを手作業で行っていたものを操業時間短縮と省人化、そして設備コスト低減を目的に「接点可動型大電流切替器」を開発し、全体工程を自動化し効率的に操業させ、更には設備コストを低減することに成功した内容について紹介する。

2. 開発の背景

従来、黒鉛化炉へ供給される大電流母線の切替接続部は電極を加熱した際に炉内の電極自身が熱膨張で伸び、これに接続された給電部の位置も同様に変化するため、屈曲が可能で熱膨張も吸収できる水冷ケーブルが使用されてきた。

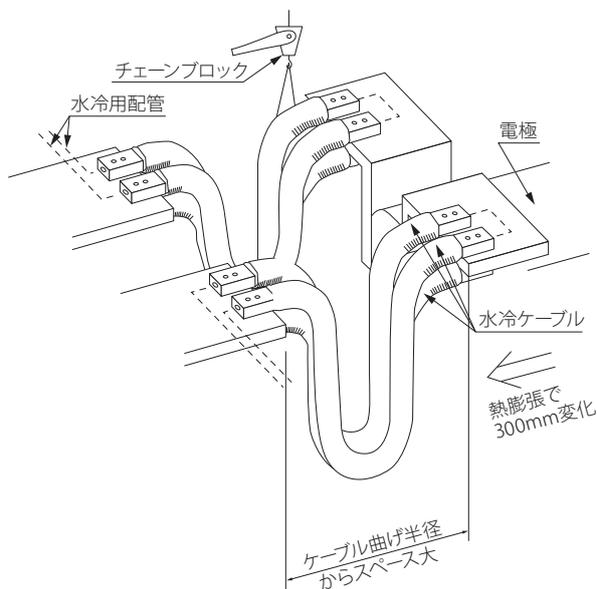


図1 従来の接続切替方法

しかし、水冷ケーブルは1本5,000mm²の8本構成で重さは2,000kgもあり、この切替作業はチェーンブロックと呼ばれる吊具で吊りながら太さ24mmの大きなボルト16本を締付けたたり、緩めたりする必要があり、全て手作業で行われていたことから1度の切替作業に多大な時間と労力を必要とした。また、水冷ケーブルは非常に高価であり、大きなスペースも必要であった。

弊社は新規に設備を作る今、これらの問題を解決した切替接続方法を開発する必要があると考え、電極の熱膨張時にも通電可能で他の炉への電源の移動と切替も容易にできる製品を開発することを目的とした。

3. 開発条件

- (1) 各黒鉛化炉への電源の切替が可能であること
- (2) 通電中に給電部の位置が300mm変化しても通電し続けることが可能であること
- (3) 切替作業が容易で多くの人員と時間を要しないこと

4. 断路器方式採用の検討

一般的な断路器の構造は、図2のように二つの接点が大いなる圧力で接触することで電氣的に接続され、この両端の接触圧力が均等に加わるように二つの接点間を接続する導体の中央に強力なバネが配置されている。

我々は、この通常の断路器システムの一部を応用し切替

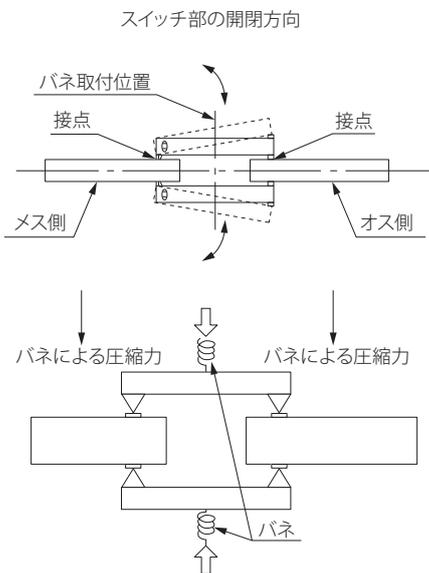


図2 一般的な断路器の接点

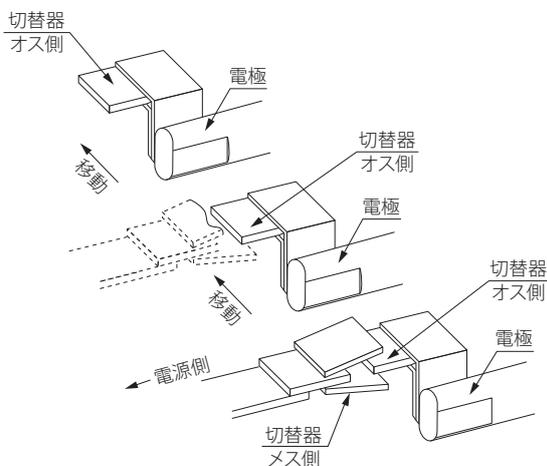


図3 断路器方式による電源の切替

接続ができないかと考え、図3のような構造で検討を進めることとした。これは、図3で左側のメス側部分と右側のオス側部分を別々に配置しメス側がオス側の両側から挟み込むことで接触させるもので右側のオス側を各炉に配置し、メス側は電源側の移動装置に配置することで移動と切替を可能とする。

熱膨張による給電部の移動吸収のため、オス側の接触面を300mmと長い銀板製の接触面を作り、メス側の接触部は接点が滑らかに可動するように銀板を半円状に機械加工したものを考えた。

5. 路器方式採用の問題点

熱膨張を吸収するために図4の「バネ部から右側のメス側」と「オス側」の接触面を300mm長くする必要がある。通常接点の圧力は40kg/mm²の接触圧力が必要だが、詳細検討を進めていくと、バネから近い部分の左側接点には過剰な71kg/mm²の圧力が加わり、バネから遠い右側接点には28kg/mm²しか圧力が加わらないことがわかり300mm長い側の接点の圧力が不足することがわかった。

通常の低圧直流断路器のように、短い距離で開閉できる場合はこのような圧力のアンバランスによる問題は発生しないが、今回のように接触子が長い場合、接触圧力が不足する恐れがあるため、圧力不足側の圧力を補うためには更に強力なバネを使用する必要があった。

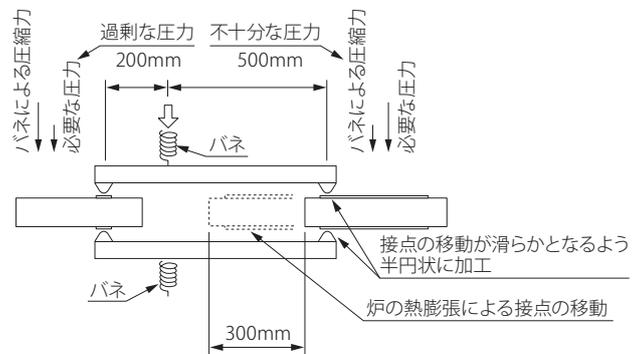


図4 改造した断路器の接点

6. 問題点とその検討

(1) 高圧力側接点

71kg/mm²の高圧力側は、接点圧力が高すぎることによって接点に使用している銀が圧力によってクリープ変形を起こし接点寿命が短くなる。

(2) 低圧力側接点

28kg/mm²の低圧力側は、接点圧力が低く電流による過

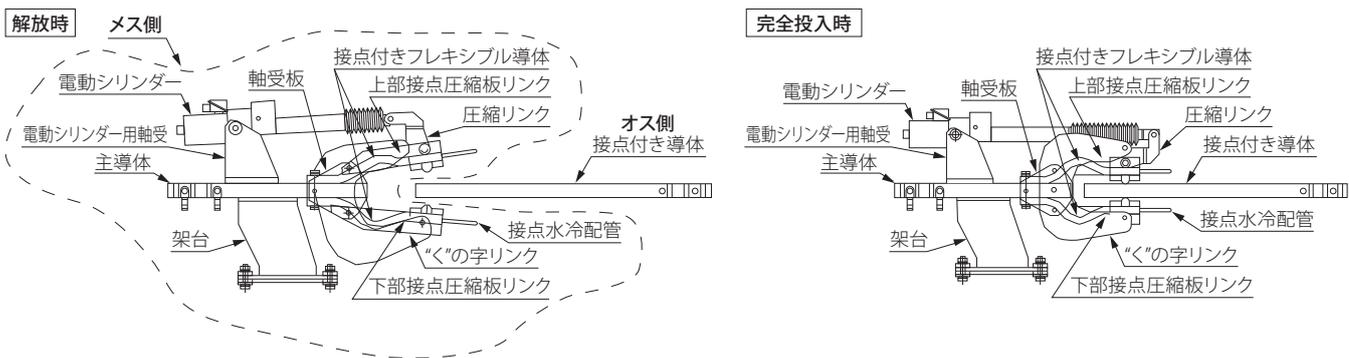
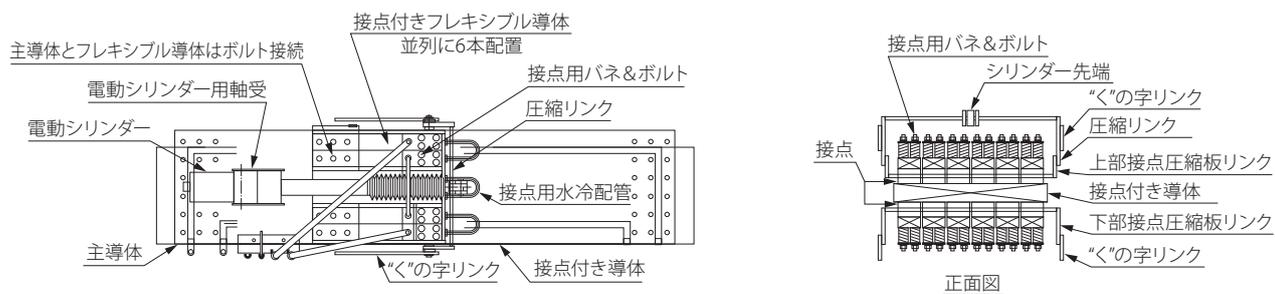


図5 開閉器の構造

熱から接点の溶解が懸念され、またこの解決を計るためバネ力を強くすると、メス側の接触用導体が通常より300mmも長いことから、導体自身に捻り力が生じ接点の不接触と導体の変形も懸念された。

この問題を解決するため、接点は1つで各炉の切替がないメス側接点をボルト締めとし、切替側のみ銀接点を使用する方法を検討することとした。具体的な方法を以下に示す。

- ・高圧力側の通電部には接点を使用せず、切替側の接点の開閉が可能のようにフレキシブル導体を使用することで接点の圧力バランスをなくす。
- ・低圧力側の接点はこのフレキシブル導体の先端に配置し、接点の近傍にバネを配置することで適正な接触圧力である40kg/mm²の圧力を加える構造とした。

7. 具体的な構造設計

今回検討した具体的な構造は、図5のように、左右接続部とバネの構造、そして接点を開閉する開閉機構である。

接点の開閉は電動シリンダーを使用しリンク機構を通じて接点部を駆動させることとし、この可撓性はフレキシブル導体を使用することで可能とした。

切替器の接点は移動が容易にできるようにコンパクト化・軽量化を図るため、接点内部に水路を設け水冷構造とした。また、黒鉛電極の膨張方向が変化した際にも追従できるように接点を6分割しフレキシブル導体先端に配置す

ることとし、オス側の導体角度が熱膨張の影響等から図6のように捻り方向に変化した場合も追従できるように考慮した。

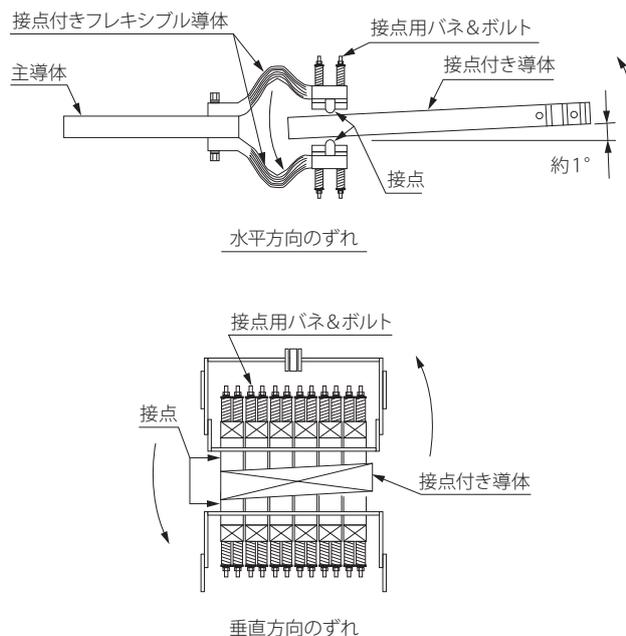


図6 接触の自由度確保

これにより、黒鉛電極の熱膨張にも追従し、各炉への移動も可能で、更には接続と開放の時間も大幅に短縮した「接点可動型大電流切替器」の設計ができたので、確実に動作通電が可能か実規模の試作品を製作し、性能を確認することとした。

8. 試作品の試験結果

- ・電気的確認として、接触抵抗を測定し投入時の初期抵抗 $0.02\mu\Omega$ 、接点 300mm スライド時の接触抵抗も大きく変化することなく運転時にも良好な接続を得るであろうことが確認された。
- ・投入、開放動作についてもシリンダーとリンク駆動部が問題なく動作をすることが確認され、作動時間も約 1 秒足らずと大幅に短縮できることが確認された。

以上の結果より、実設備に於いても問題なく使用できると考えた。

9. 現地での据付

切替器のメス側はトラバースカーと呼ばれる移動台車上に設置し、各炉の電極に固定されたオス側の間をぶつかることなく移動させる必要があり、各炉に取付けたオス側接点の上下方向の据付誤差を $\pm 3\text{mm}$ で管理することとした。

また、移動するメス側断路器の接触位置も重要な要素であるが、断路器のメス側は移動台車に積まれ、変圧器、整流器、電極加圧装置他も同じ台車に搭載され、移動重量が 150t となる。このため、大きな慣性力を持つ台車も $\pm 3\text{mm}$ の停止精度が要求されたが、速度センサーを停止 3m 手前、1m 手前、0.3m 手前と区間を区切ってインバータにて速度制御を行い、停止誤差 $\pm 3\text{mm}$ の目標値を $\pm 0.5\text{mm}$ 以内に納めることができた。

これにより各炉全体の据付誤差を含め、切替器のオス側、メス側の相対位置を最大 1mm 以内の誤差で据え付けることができ良好に断路器が投入できることができた。

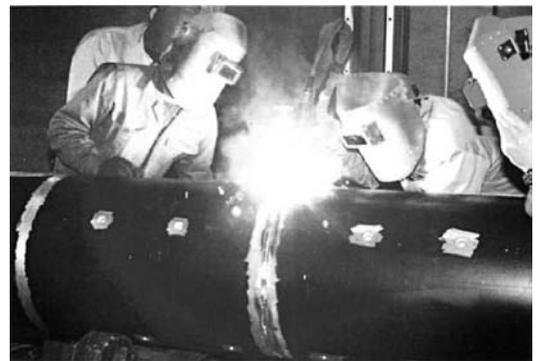
この設備は、2004 年に操業を開始し現在も問題なく稼動し切替も容易なことから好評を頂いており、他の需要家

様からも引合を頂き、2007 年、2008 年に続き 2011 年、2012 年にも納入が予定されており、この接点可動型切替器の採用を頂いている。

10. 結 言

住友電設(株)変電部は、アルミ溶接施工技術から発展させた直流大電流を機軸とし、施工のみならず、機器の設計、製作、納入を手がけ大電流を必要とする多方面のお客様にご利用頂いております。

最後に弊社の大電流母線関連の施工と機器についてご紹介いたします。

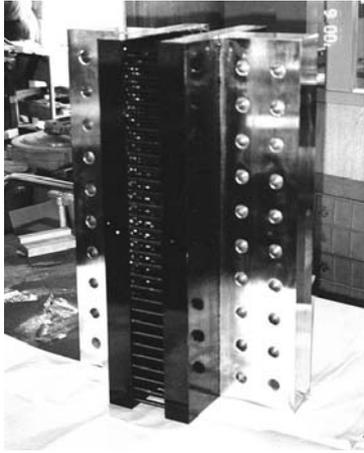


アルミ溶接施工技術

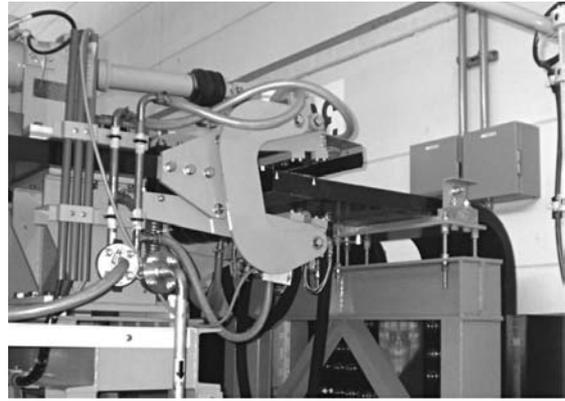
写真2 施行技術のご紹介



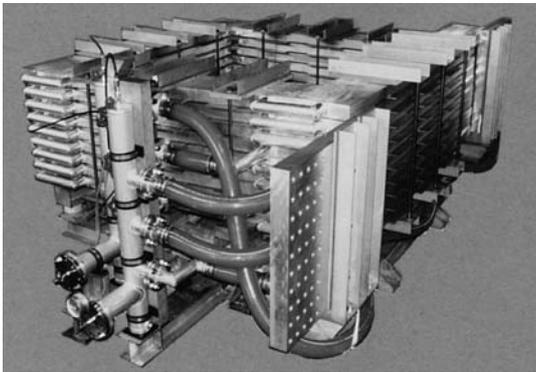
写真1 試作品の試験状況



直流シャント



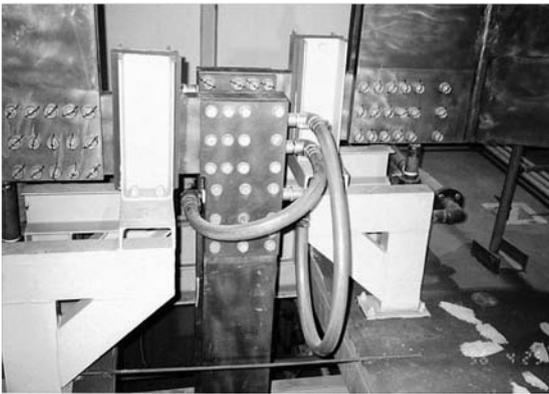
接点可動型切替器



直流リアクトル (DC40kA, 300 μ H)



電気炉用電極支持装置 (導電アーム)



水冷銅導体 (130kA)

写真3 納入製品のご紹介

執筆者

北 昌宏 : 住友電設(株) 電力事業部 変電部長
発電機所用母線他、母線付属品の設計
及び施工管理業務に従事

