

.....
 論 文

移動電極型電気集塵装置における主要可動部品の信頼性向上

三坂俊明*¹, 大浦 忠*, 白丸信彦*, 有光武雄*

(2006年3月13日受付; 2006年7月11日受理)

Reliability of Main Moving Components for the Moving Electrode Type Electrostatic Precipitator

Toshiaki MISAKA*¹, Tadashi OURA*, Nobuhiko SHIROMARU* and Takeo ARIMITSU*

(Received March 13, 2006 Accepted July 11, 2006)

The reliability of moving components of the moving electrode type electrostatic precipitator was investigated in term of the moving method and the shape of collection electrode elements, lifespan of the rotating brushes for removing collected dust, elongation of the chains used to connect movable dust collection electrode elements and the influence of the discharge current by the elongation. The caterpillar drive method was adopted for the moving dust collection plate. From actual operation, abrasion of the rotating brushes combined with the flat-plate type movable collection plate element was decreased approximately one half of the combination of the frame type movable collection plate element. Elongation of the link chains was affected by particle size and hardness of dusts. Due to the influence of corona current passing through chains, the elongation of the link chains became 2.2 times longer in addition to the effect of the mechanical abrasion from deposited dusts. Extension of the roller chain decreases drastically in comparison with that of the link chain.

1. はじめに

電気集塵装置は、ガス中に浮遊する微細なダストに対して直接的に静電気力を及ぼして捕集除去するので、省電力で圧力損失が小さい特徴があり、広く工業排ガス用集塵装置として使用されている。しかし電気集塵装置は排ガスを電氣的に処理する原理から、集塵性能がダスト電気抵抗率の影響を受ける。特に高抵抗ダストで発生する逆コロナによる集塵性能の低下を克服することは重要な課題となっている¹⁾。電気集塵装置で逆コロナを抑制して集塵性能を高く保つ方法として、集塵極を構成する集塵板を移動可能にして捕集ダスト層を連続的に完全除去して集塵板を常に清浄に保つ移動電極方式がある²⁾。

前報³⁾では移動電極方式のダスト層付着力と払落し方法、放電特性とダスト層厚さ、回転ブラシのダスト層払落し効果について実験検討した内容を報告した。電気集塵装置のダスト付着力はダスト電気抵抗率が高くなると急激に増加して、

集塵板の機械的槌打では払落し困難なことを明らかにした。また、高抵抗ダストをブラシで払い落として集塵板表面を常に清浄に保てば、逆コロナを防止して高抵抗ダストの集塵が可能であり、回転ブラシは集塵板に静電捕集したダストの払落し効果が優れていることを示した。

移動電極方式の場合、集塵板を短冊状に分割してチェーンで連結した集塵極エレメントなどの可動部品を高濃度のダスト中で連続して運転することになる。安定した運転とメンテナンスの容易さを考えると可動部品の信頼性の向上が重要となる。本論文では(1)移動電極形電気集塵装置を用いて測定した集塵極エレメント形状と回転ブラシの摩耗、(2)実験装置で測定した集塵極駆動用のリンクチェーンとローラチェーンの摩耗伸び量と電流の影響および(3)実機におけるチェーンの磨耗伸び量の測定結果について報告する。

2. 集塵極エレメント形状と回転ブラシの摩耗

2.1 移動電極型電気集塵装置の構造

移動電極方式の集塵極エレメント形状と回転ブラシの摩耗量の関係は石炭焼きボイラ用移動電極型電気集塵装置を用いて実験した。実験に使用した移動電極方式電気集塵装置の電極構造を図1に示す。大容量の排ガスを取り扱う電気集塵装置の集塵極は幅2.5~6 m、高さ6~15 mの集塵板を多

キーワード：電気集塵装置、高抵抗ダスト、移動電極方式、信頼性、放電加工、チェーン、摩耗

* (株)日立プラントテクノロジー (170-8466 東京都豊島区北大塚 1-13-2)

Hitachi Plant Technologies, Ltd. 1-13-2 Kita-Otsuka, Toshima-ku, Tokyo, 170-8466 Japan

¹ toshiaki.misaka.sn@hitachi-pt.com

数並列に配置したものを使用している。移動電極方式を工業用電気集塵装置に適用する場合、固定電極方式に匹敵する有効寸法の集塵板を移動しなければならない。実用性のある移動可能な集塵板形状として薄板をループ状にしたベルト方式^{4,6)}など種々の方式が考えられたが、集塵板の駆動が最も安定しているキャタピラ方式⁷⁾を検討して実用化した。

集塵極は集塵板を高さ 700mm 程度の短冊状に分割して集塵極エレメントとし、多数の集塵極エレメントを固定金具でチェーンに連結して集塵極レーンを構成している。この集塵極レーンを駆動ホイールと下部ホイール間で 0.5~1m/min 程度の速度で移動する。集塵極レーンの駆動ホイールと下部ホイール間には放電極が設置してある。処理ガスは放電極の設置してある集塵域を流れる。この集塵域で集塵極エレメントに捕集されダストは、処理ガスが流れないホップ部に移動して回転ブラシで払落される。回転ブラシは集塵極エレメントとの接触でブラシ素線の曲がりや折れが発生してブラシ径が減少する。このブラシの摩耗には集塵極エレメント形状も関係する。

2.2 集塵極エレメントの形状

回転ブラシの摩耗に影響する集塵極エレメントの形状は、(1)ダストの堆積するような凹凸がない、(2)ブラシとの接触が全面で円滑なこと、(3)ダストの払い落としが容易なことが望まれる。移動電極方式で処理ガスの荷電時間を考慮すると、集塵極エレメントの幅は 2.5 m 以上が必要となる。また集塵極エレメントは上下部ホイールで水平となるため、剛性が要求される。

集塵極エレメント形状を検討して図 2(a)のフレーム型集塵極エレメントと図 2(b)のフラットパネル型集塵極エレメントを実用化した。フレーム型集塵極エレメントはステンレスプレートと補強枠から構成され、補強枠中央部の取付け金具で両側のチェーンに連結している。フレーム型集塵極エレメントは軽量という特徴がある。

フラットパネル型集塵極エレメントはフレーム型集塵極エレメントに比べて枠材による凹凸が少ない構造となっている。またフラットパネル型集塵極エレメントはフレーム型集塵極エレメントよりも剛性が大きく、集塵極エレメントの幅を最大で 4,500 mm まで拡大できる。集塵極エレメント幅の拡大によって移動電極部でのガス処理時間を長くでき、出口ダスト濃度を低下させることができる。

フラットパネル型集塵極エレメントはフレーム型集塵極エレメントに比べて平滑なため、捕集ダスト払落し用の回転ブラシの摩耗が低減することが期待された。回転ブラシの摩耗は移動電極型電気集塵装置の保守をするうえで重要な項

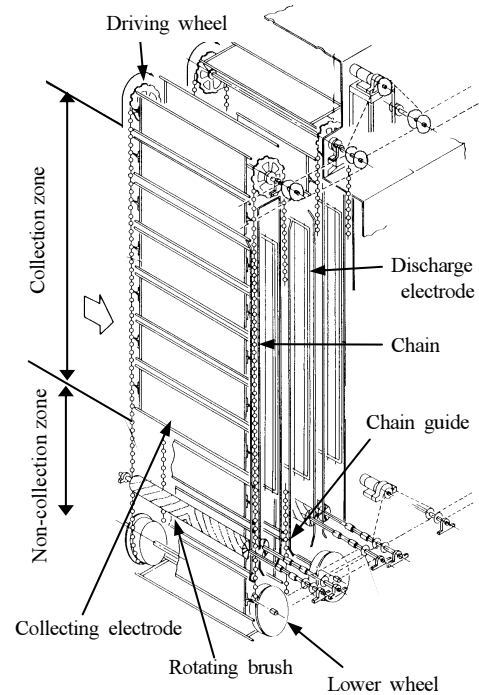


図1 移動電極方式の詳細構造
Fig. 1 Schematics of the moving electrode section.

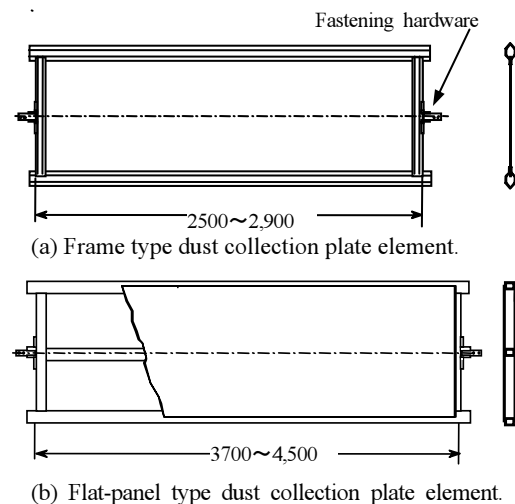


図2 集塵極エレメントの形状
Fig. 2 Configuration of the collection plate element.

目である。そこで移動電極型電気集塵装置の長期運転によってフレーム型集塵極エレメントとフラットパネル型集塵極エレメントそれぞれについて回転ブラシ摩耗量を測定した。

2.3 回転ブラシ磨耗量の実験結果と検討

電気集塵したダストを集塵極エレメントから払落す回転ブラシのカットモデル写真と回転ブラシと集塵極エレメントの位置関係を図 3 に示す。ブラシ素線は螺旋状に取付けてあり、集塵極エレメントへのブラシの接触強度を一定にして集塵極レーンの揺れを防いでいる。また、ブラシ素線の螺旋の向きを中央で反転して集塵極エレメントが片方に押されることを防いでいる。



図3 回転ブラシのカットモデルと集塵極エレメントの配置
Fig. 3 Photograph and schematic diagram of the rotating brush and the collecting plate.

図4に回転ブラシの石炭焚きボイラ用移動電極型電気集塵装置における摩耗量の測定結果を示す。図2(a)のフレーム型集塵極エレメントを使用した場合、1年目の回転ブラシ摩耗量は5~6 mmであった。回転ブラシの設計上の摩耗限界は25 mmであり、8年程度でブラシを交換する必要がある。

図2(b)のフラットパネル型集塵極エレメントは回転ブラシが枠材を通過する際のブラシ素線の湾曲がフレーム型集塵極エレメントよりも少なく、ブラシ素線の摩耗や折損が減少する。フラットパネル型集塵極エレメントを使用した場合、6年間の運転実績でブラシ摩耗量は10 mm程度であり、フレーム型集塵極エレメントの場合に比べて回転ブラシの摩耗量は半減した。集塵極エレメントをフラットパネル型にしてブラシ素線の湾曲を低減した効果は明らかで、回転ブラシの交換寿命はフレーム型集塵極エレメントと組合せた場合の2倍の15年以上が期待できる。

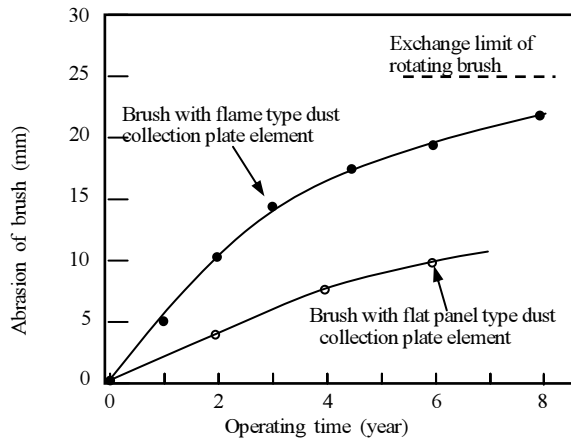


図4 回転ブラシの摩耗
Fig. 4 Typical abrasion characteristic of the rotating brush.

3. 集塵極エレメント駆動用チェーンの摩耗伸び

3.1 チェーン摩耗実験装置

集塵極エレメントを連結して駆動するのにチェーンを使用している。移動電極方式の場合、チェーンは微細で硬度が高いダストを含むガス中という過酷な条件下で使用することになる。また集塵域で放電極からの放電電流は集塵極エレメントに流入し、チェーンを経由して駆動ホイール、下部ホ

イール、回転ブラシ等から荷電装置の接地側に流れる。このため、チェーンはダストと放電電流の影響で摩耗して長さが伸びることが考えられ、保守点検や交換が必要となる。このため実験装置を用いてチェーンの摩耗伸び量を測定した。

図5にチェーンの摩耗伸び実験装置を示す。実験ではチェーンの荷重、チェーンの電流、摩耗伸び量を測定した。実験装置はエアシリンダで実機同様の荷重を加えられるようにした。エアシリンダへの供給圧力は圧力調整弁で一定としてチェーンの伸びが発生しても加わる荷重は一定となるようにした。チェーンを流れる放電電流に相当する5~10 mAの電流はチェーンの中央部からブラシで供給し、ホイールを経由して接地へ至る。チェーンの伸びはダイヤルゲージで連続測定した。下部のスプロケットホイールはダスト供給ボックスの中に設置することで、チェーンがダストで汚損されながら移動してダストを噛み込むようにした。チェーンの形状を

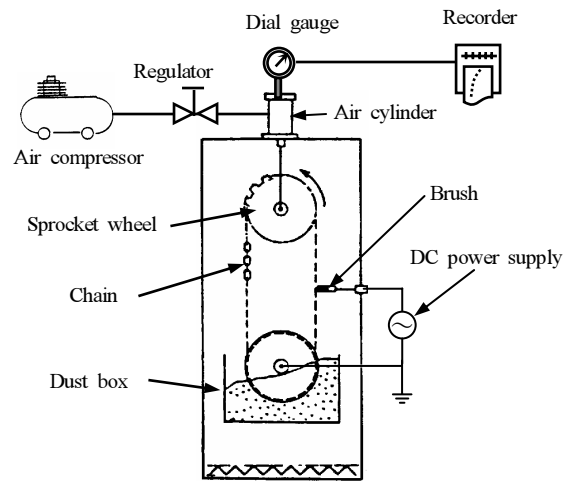


図5 チェーンの摩耗伸び実験装置
Fig. 5 Test apparatus used for elongation measurement for chain abrasion.

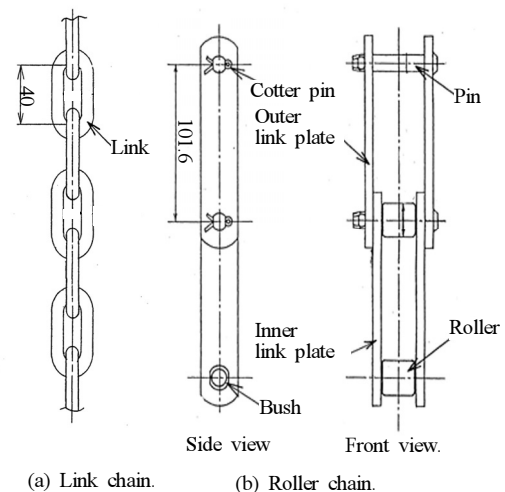


図6 チェーンの形状
Fig. 6 Schematics of chain geometry.

図6に示す. 当初は構造が単純でダスト噛み込みによる故障要因の少ない図6(a)のリンクチェーンを選定した. 最近は摩耗による伸びが少ない図6(b)のローラチェーンを集塵極エレメントの駆動に使用している⁸⁾.

3.2 リンクチェーンの摺動摩耗

リンクチェーンは丸鋼同士が点接触して荷重を受け, 摺動して屈曲するため, 摩耗による伸びは必然的に発生する. 移動電極方式でチェーンは上下部ホイールで屈曲運動するのでリンク間に噛み込んだ粒子が摩耗に大きく寄与すると考えられた. そこで, 粒径や硬度の異なる5種類のフライアッシュを用いてチェーンの摩耗による伸び量を測定した.

図7は実験装置で測定したリンクチェーンの摩耗による伸び量を示している. 縦軸の摩耗伸び量はチェーン長さ1mあたりの摩耗伸び量で示した. 横軸はチェーンのホイールでの屈曲回数で, 7,407回が1年間の屈曲回数に相当する. 図7で, ダストの粒径がほぼ等しい(A),(C),(E)を比べるとダストの硬度が高いほど摩耗伸び量が大きく, 硬度のほぼ等しい(C)と(D)を比べると粒径が大きいほど摩耗伸び量が多い傾向が見られる. リンクチェーン表面のビッカース硬度⁹⁾はHv736とフライアッシュの硬度と同等かやや低いので, フライアッシュをリンク間に挟み込んだ屈曲運動によって, リンクチェーンの摩耗伸び量が增大したと考えられる.

図8はリンクチェーンに加わる荷重とチェーンの摩耗伸び量の関係を示している. チェーン荷重15kNまで, リンクチェーンの摩耗伸び量はチェーン荷重にほぼ比例している. チェーン荷重が15kNを超えると, 摩耗伸び量は急激に増加している. これは摩耗メカニズムが摺動摩耗から凝着摩耗¹⁰⁾に変化したためと思われる. 移動電極方式で集塵域の高さが

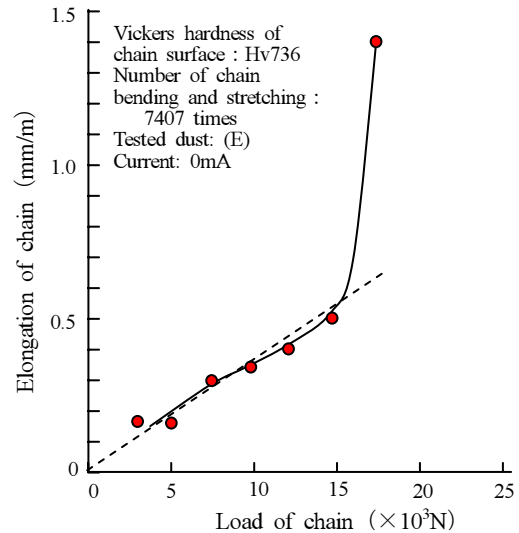


図8 リンクチェーン荷重と摩耗伸び量
Fig. 8 Chain load vs. elongation of link chain.

15 m の場合, チェーンに加わる最大荷重は上部スプロケットホイールの部分で約10kNとなっている. このため, チェーンの摩耗伸びは上部スプロケットホイール部分での屈曲による摩耗が主になると考えられる.

3.3 電流の影響によるリンクチェーンの伸び

移動電極方式では放電電流がチェーンを経由して接地側に流れる. この電流がチェーンの摩耗伸びに与える影響について実験した. 図9はチェーンに電流を流した場合のチェーンの摩耗伸び量測定結果である. チェーンに電流を流すことで摩耗による伸び量は増加している. 電流値が10mAの場合, 電流を流していない場合と比較すると, チェーンの摩耗伸び量は約2.2倍に増加した. 図10は横軸をダストの粒径として摩耗伸び量を示したもので, 電流を流した状態での摩耗伸び量は粒径の影響が大きくなっている.

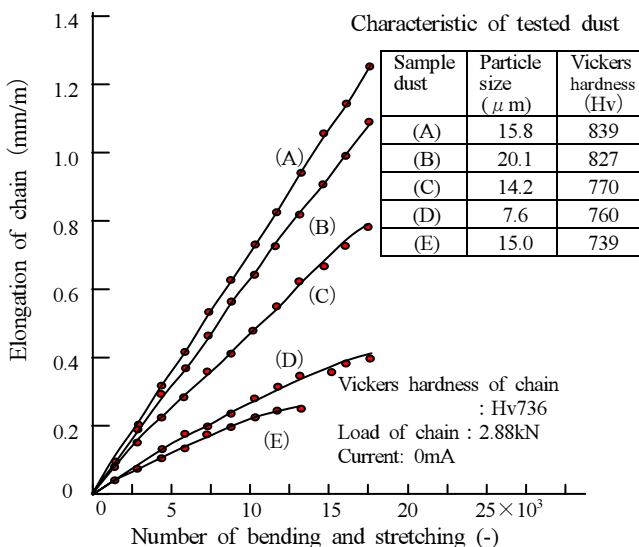


図7 ダスト性状とリンクチェーンの摩耗伸び量
Fig. 7 Elongation of link chain and characteristics of tested dust vs. number of bending stretching.

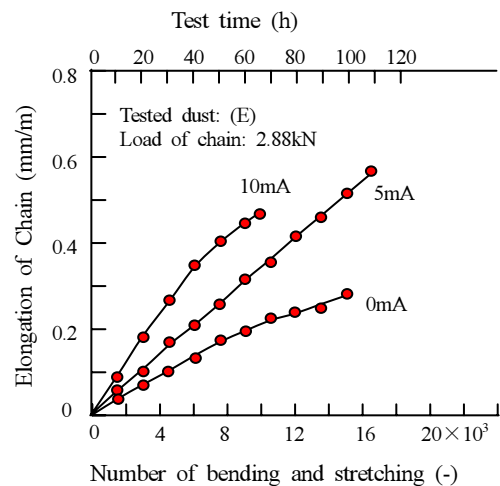


図9 リンクチェーン摩耗伸び量と電流の影響
Fig. 9 Influence of current on link chain elongation.

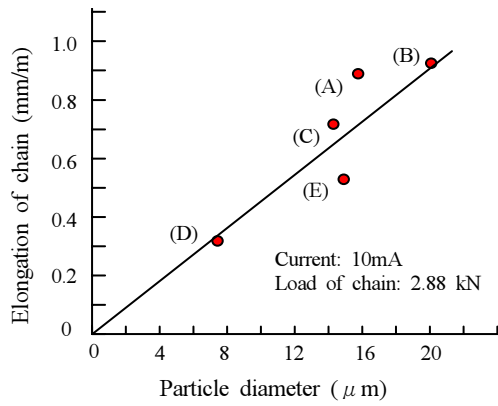
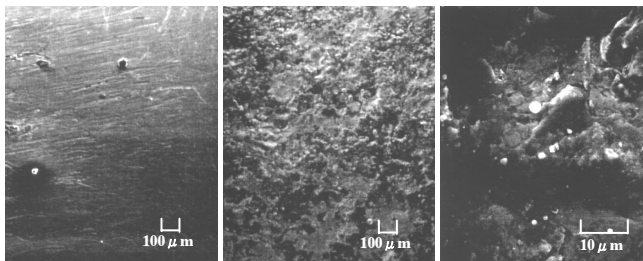


図 10 リンクチェーン摩耗伸び量と粒径の影響
Fig. 10 Influence of particle diameter on link chain elongation.

電流によってチェーンの摩耗伸び量が増加した理由を検討するために、チェーン摺動面の電子顕微鏡による観察を行った。図 11(a)は電流を流していないときのチェーン摩耗面である。所々にダスト粒子が金属面に圧入された痕跡が見られるが、金属同士が摺り合わさったときにできる摺動摩耗がほとんどを占めていた。図 11(b)は電流を流した場合の摩耗面である。荷電状態では激しい凹凸が金属面に見られた。小さなクレーター状の窪みが重なり合っているような摩耗面を示している。さらに拡大して詳細に観察した結果、図 11(c)に示すように摩耗面に $1.5 \mu\text{m}$ 程度の球状物質が観察された。エネルギー分散型 X 線分析装置による測定から、鉄を主成分とする粒子であることがわかった。これはリンクチェーンの表面金属が電気的に溶融して、ふたたび凝固してできたものと考えられた。リンクチェーンの接触点での放電を考えると、リンクチェーンの接触点間に高抵抗ダストを噛み込んだ場合、リンク間に絶縁層を形成することになる。この狭い絶縁層を通じて放電が発生すれば、放電加工^{11~12)}と同様にチェーンの金属が損耗することが考えられる。

図 12 はチェーン荷重を変化させたときの給電ブラシと接地間の接触抵抗を示している。チェーン荷重が 5 kN 以上では数百 Ω 程度の抵抗値であったが、チェーン荷重をそれ以下にするとチェーンのリンク間にダストを噛み込み、急激に抵



(a) Abrasion point by load and dust (b) Abrasion point by electrical discharge machining (c) Enlarged view of electrical discharge machining point

図 11 リンクチェーン摩耗面の電子顕微鏡写真
Fig.11 SEM image of abrasion point for the link chain.

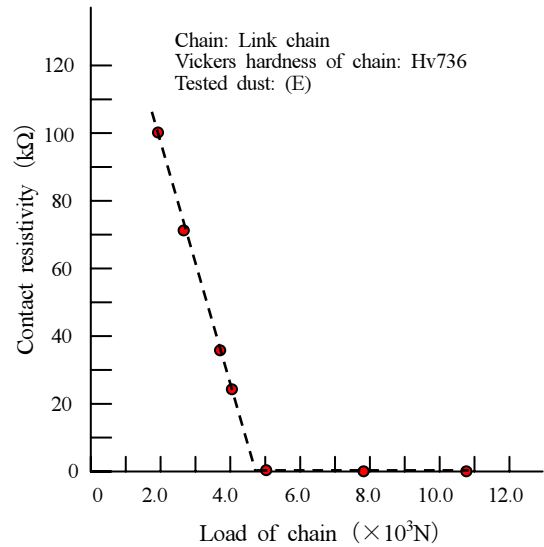


図 12 チェーン荷重と接触抵抗
Fig.12 Chain load vs. contact resistivity of the link chain.

抗値が上昇した。この噛み込んだダストが絶縁層を形成してリンクチェーン間の放電を発生していると考えられる。 5 kN のチェーン荷重は集塵極レーンの下部ホイールから 7 m 程度の範囲の荷重に相当している。チェーン荷重が 5 kN 以上になると噛み込んだダストが荷重で粉砕されて押し出されるために抵抗値が低下すると思われる。

以上の実験結果から、リンクチェーンの摩耗伸びはダストが介在した丸鋼同士の摩擦による摩耗に加えて、電流が影響した放電加工による摩耗が複合していることが明らかになった。集塵極エレメントに流れる放電電流は荷電装置とチェーンを含めた閉回路を確保する必要がある。なお構造上、移動電極型電気集塵装置は集塵極エレメントからの電流流出経路が複雑であり、実機におけるチェーンの摩耗伸びの確認が必要と考えられた。

3.4 ローラチェーン

移動電極型電気集塵装置を用いるプラント全体の寿命、電気集塵装置の寿命などを総合的に勘案すると、移動電極型電気集塵装置の信頼性向上のためには、リンクチェーンよりも更に耐久性の大きいチェーンの開発が要望された。ローラチェーンはローラとピンが線接触してローラチェーンに加わった荷重を受けるので接触部の面圧がリンクチェーンより小さく、ダストに対する耐摩耗性を考えると有利になる。また接触する金属の面積が大きいので電流によって発生する損耗が小さくなり、チェーンの寿命を長くできると考えた。ローラチェーンの摩耗伸び実験の結果を図 13 に示す。1 年間のチェーンの屈曲回数を $7,407$ 回とすると屈曲回数では 10 年相当の摩耗試験となる。ローラチェーンの摩耗伸び量はリンクチェーンの摩耗伸び量の $1/30$ 程度に低減した。

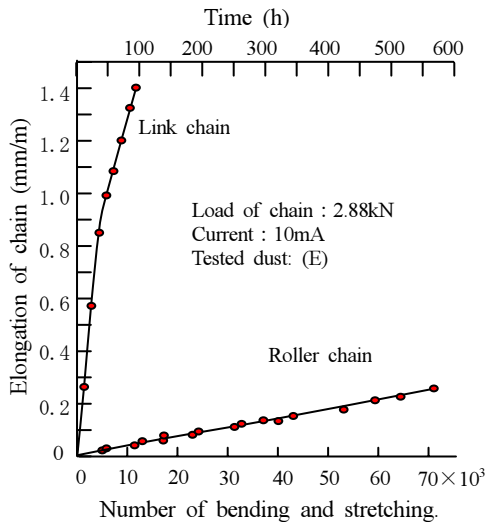


図13 チェーンの摩耗伸び量比較

Fig.13 Comparison of chain elongation.

3.5 チェーンの伸び量の実機測定結果

図14は産業用と事業用の石炭焚きボイラで継続的に測定したリンクチェーンの摩耗伸び量の測定結果である。この運転実績で、産業用石炭焚きボイラ用移動電極型電気集塵装置におけるリンクチェーンの摩耗伸び量は8年程度でリンクチェーンの設計上の摩耗伸び限界量近くになり、交換している。事業用石炭焚きボイラの実績では摩耗伸び量が8.1 mmと産業用における実測値の半分であった。これはボイラの燃料である石炭の種類の違いや移動電極型電気集塵装置の運転条件の違い、放電電流の集塵極エレメントからの流出経路の改善などが複合的に影響しているためと思われる。

ローラチェーンを前述の産業用石炭焚きボイラ用移動電極型電気集塵装置に適用した結果を図14に合わせ記載した。1999年からのローラチェーンの摩耗伸び量測定値はリンクチェーンの摩耗伸び量に比べて1/5程度と小さい値となっている。この結果から、ローラチェーンはリンクチェーンに比べて長期間の使用に耐えられることが実証されつつある。

4. まとめ

移動電極型電気集塵装置の主要構成部品である集塵極エレメントの形状と回転ブラシと摩耗について石炭焚きボイラ用移動電極型電気集塵装置で実測するとともに、集塵極エレメントの駆動に用いているチェーンの摩耗と放電電流の影響について実験検討を行った。その結果、以下のことがわかった。

i) 集塵極エレメントとして軽量なフレーム型と剛性が大きく凹凸の少ないフラットパネル型の集塵極エレメントで回転ブラシの石炭焚きボイラ用移動電極型電気集塵装置における摩耗を測定した結果、回転ブラシとフレーム型集塵極エ

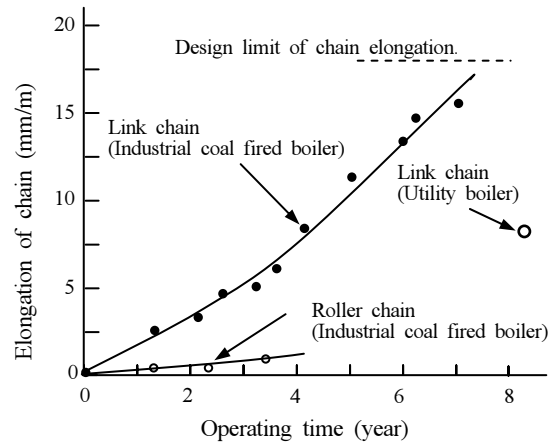


図14 チェーンの使用時間と摩耗伸び量

Fig.14 Operating time vs. chain elongation.

レメントの組合せに比べて、更に凹凸の少ないフラットパネル型集塵極エレメントと回転ブラシの組合せは回転ブラシの摩耗量を半減することができた。

ii) 集塵極エレメント駆動用リンクチェーンの摩耗伸び量は上部スプロケットホイール部分での屈曲によって発生し、ダストの硬度が高く粒径が大きいほど大きくなる。またリンクチェーンの摩耗伸び量は摺動摩耗の範囲でチェーンに加わる荷重に比例している。

iii) 放電電流は集塵極エレメントからチェーンを經由して流出するため、リンクチェーンの摩耗伸び量は放電電流によって約2.2倍に増加した。またダストの粒径が大きいほど摩耗伸び量が大きくなる傾向が見られた。

iv) ローラチェーンの摩耗伸び量はリンクチェーンの1/30程度であり、実機での測定結果でもローラチェーンの摩耗伸び量はリンクチェーンの1/5程度と大幅に少なくなった。

参考文献

- 1) 静電気学会編：静電気ハンドブック，p. 507，オーム社（1981）
- 2) 青木功，松山卓蔵：静電気学会誌，**2**（1978）207
- 3) 三坂俊明，大浦忠，有光武雄：静電気学会誌，**30**（2006）128
- 4) 増田閃一，文在徳：静電気学会誌，**6**（1982）186
- 5) 増田閃一，文在徳：静電気学会誌，**6**（1982）327
- 6) 増田閃一：特開昭50-65969（1975）
- 7) J. Trump, H. Milde：United States Patent, No.3912467（1975）
- 8) 三坂俊明，白丸信彦：実開平03-90637（1991）
- 9) 日本規格協会：JIS Z2244（1992）
- 10) 橋本建次：粉粒体による摩耗，p2,産業技術センター（1974）
- 11) 齊藤長男：放電加工のしくみと100%活用法，p42，(株)技術評論社（1989）
- 12) 齊藤長男，小林和彦，仙北谷英次：ワイヤカット放電加工技術，p46，日刊工業新聞社（1989）