

圧延機の技術を生かした特殊機械

Unique Machine Using Rolling Mill Technology

百々 秦 IHI メタルテック株式会社機械技術部 部長代理

圧延機および圧延設備の設計・製作には高度な技術が必要である。数千 t の圧延荷重を油圧で制御し、ミクロン精度で圧延し、総重量は 1 000 t 以上となる物もまれではない。ここでは、これら圧延機部門の設計・製作技術を生かして製品化した特殊機械、特に艦艇に対する水中爆破衝撃を模擬する G2000 衝撃試験装置と、パラレルリンクモーションシステム技術を活用した自動車用プレスの高速搬送装置について紹介する。

Many advanced technologies have been developed and used for engineering of massive rolling mills, some with over 1 000 tons in total weight. Such mill lines must be operated to produce steel products with micron accuracy under high-speed and several thousands of tons of the rolling force that are controlled with hydraulic systems. The rolling mill engineering technologies applied to unique machines are described, which include G2 shock-test machines used for underwater explosion impact and the feeding system of transfer press lines for car bodies. The latter uses parallel link motion system.

1. 緒言

圧延機および圧延設備の設計・製作には高度な技術が必要である。減速機を介してモータでロールを回転させ、数千 t の圧延荷重を油圧で制御し、ミクロンオーダの精度で圧延する現代の圧延機は、ラインの中の圧延機 1 機だけでも部品点数が数十万点、装置質量が 1 000 t を超える物もまれではない。また圧延ライン全体では、赤熱したスラブを 2 500 t の力で毎分 50 回連続幅圧下するサイジングプレスや、しゃく熱のために厚さ 80 mm の鋼板をコイル状に巻くコイルボックスなどが存在し、ライン後半では 1 000m/min 以上の速度で流れてくるストリップをそのままの速度で切断する高速シャーヤ、同じ速度でコイル状に巻き取るダウンコイラなど、さまざまな装置が並ぶことになる。

したがって、これら圧延機および圧延設備の設計には、一般的な機械要素技術はもちろんのこと、歯車、油圧、電気制御など、多くの技術を必要とする。またその製造においても、単品重量で 100 t を超えるような部品を扱うほか、複雑な動きに伴った多くの部品を計画どおり組立て、据付け、納期に合わせて運転するという技術を必要とする。

ここでは、圧延機部門がそのさまざまな技術を生かして製品化した特殊機械、特に G2000 衝撃試験装置と、自動車用プレスの高速搬送装置について紹介する。

2. 圧延機を支える技術

圧延機および圧延設備、なかでも製鉄設備は非常に巨大

で高荷重、高温、高速の圧延を行うなど、過酷な環境下で働く産業機械である。このため設計には一般的な機械設計技術のほか、振動対策、腐食対策、熱対策など、多くの実績に裏付けされたさまざまなノウハウが盛り込まれる。

また、この圧延設備を使用する客先でも、さまざまな保全技術、設備技術をもっており、受注に際してはその豊富な経験を生かして固有の設計を行い納入される。

したがって、圧延機および圧延設備の設計は、当社の技術と客先の技術、そして新技術を組み合わせ、伝統機種でありながら毎回知恵を出し合って完成させる、さまざまな人々の共同作業である。さらに製品の巨大さゆえに、その設備の機能的な仕様だけでなく、部品の加工や組立て、建設、輸送、保全、環境など、さまざまな条件に配慮した設計が必要であり、一品一品の部品図に至るまで社内で細かい検討を行って決定している。以上の状況から、圧延機の製造は毎回新製品開発を行っているといえる。

よって圧延機を支える技術とは、伝統に裏付けされたノウハウと、新技術や状況に配慮して柔軟に設計を変更し形にしていける臨機応変さを兼ね備えた、総合的な設計・製造技術といえることができる。このような技術は圧延機だけでなく、さまざまな特殊機械に応用できる。特に、重厚長大で、可動部分が多く、過酷な使用環境が予測される機械については得意分野である。

このような特長が認められ、圧延機部門では社内外を通じてさまざまな機械の製品化に参加してきた。本稿で紹介する 2 機種はそうした製品のなかの一部である。

3. G2000 衝撃試験装置

G2000 衝撃試験装置は、当社が 2001 年、防衛庁（現防衛省）技術研究本部に納めた艦艇に対する水中爆発衝撃（第 1 図）を模擬する試験装置である。装備品などの重量物は、実爆破実験を実施すると試験コストが非常に高価になるため、これまで計算によるシミュレーションに頼っていた。そこで、客先からこの衝撃試験を機械的に行える装置が欲しいとの要求あり、これにこたえるため開発した。

3.1 装置仕様

衝撃試験装置の能力は、一般に試験体に与えられる衝撃加速度と、その試験体の最大質量で評価される。この G2000 衝撃試験装置は世界最大級のものであり、その主な仕様は以下のとおりである。

供試体最大質量	4 000 kg
最大衝撃加速度	19 600 m/s ² (2 000 G)
衝撃作用時間	約 1 ms
装置総質量	約 200 000 kg (200 t)



第 1 図 艦艇に対する水中爆破衝撃
Fig. 1 Underwater-bomb impact to defense ships

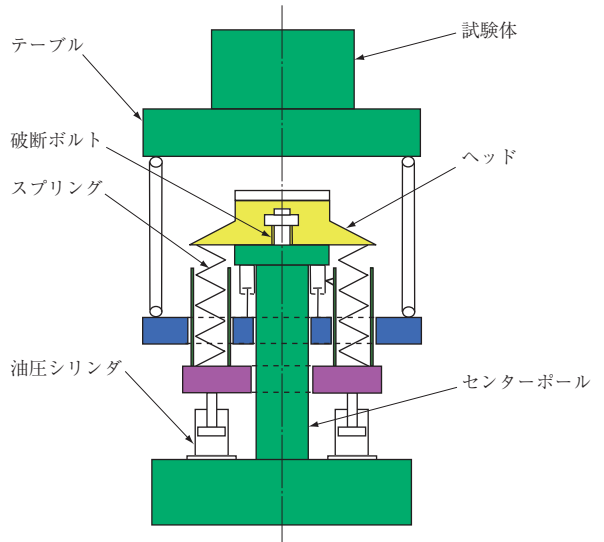
当社ではこの装置を実現するために機器技術部を始め技術開発本部、圧延機部門、横浜第 2 工場などが協力し、総力を挙げて設計・製作に取り組んだ。そのなかで圧延機部門は、基本構想、基本計算が終った段階から、詳細設計と製造を担当した。

3.2 衝撃試験装置の基本構造

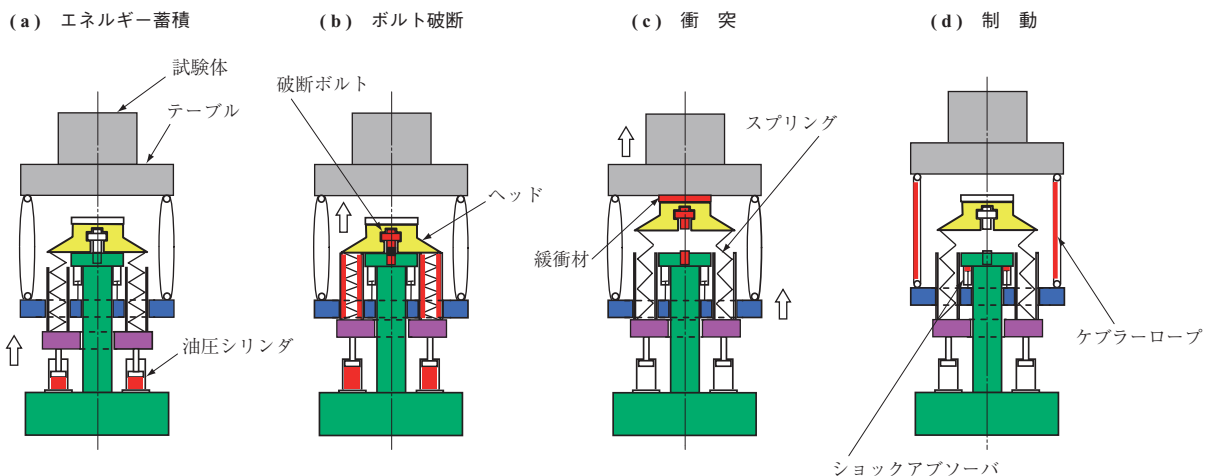
第 2 図に G2000 衝撃試験装置の概要を示す。

衝撃加速度を発生させる基本的な動作については以下に示す（第 3 図）。

- ① 供試体をテーブル上面に固定する。センターポールと破断ボルトでセンターポールに固定されたヘッド間にあるスプリングを油圧シリンダで圧縮する。
- ② スプリングの圧縮力が破断ボルトの降伏応力を超え



第 2 図 G2000 衝撃試験装置概要
Fig. 2 Outline of G2000 shock-test machine



第 3 図 衝撃試験装置動作図
Fig. 3 Mechanism of shock-test machine

るとボルトが破断しヘッドを上方へと打上げる。

③ 打上げられたヘッドがテーブル下面に衝突し、テーブルに衝撃を与える。その際、ヘッド上面に設置されている緩衝材の特性を変えることで任意の衝撃波形を形成する。

④ 衝突後、浮上ったテーブルはケブラーロープを介してショックアブソーバで制動を行い試験終了となる。

3.3 試験装置実現のための技術課題

本装置が実現する衝撃力は自動車などの衝突と比較しても巨大なエネルギーである。そのエネルギーをスプリングに蓄積し一気に発散させる機構の開発には、乗り越えなければならないさまざまな技術課題が存在した。

まず、試験体を搭載するテーブルは、2 000 G の加速度を得るために軽く丈夫なものでなければならない。このためハイテン材（高張力鋼板）の溶接構造としたが、ヘッドが衝突する際、過大な力が作用することとなる。このような過酷な使用条件下で機器の健全性を確保するため、当社の技術開発本部構造研究部が解析を担当し、溶接施工については生産技術センター生産技術開発部が検討、実際の施工はシールドマシンなどで厚板の溶接に高度な知見をもつ愛知工場で実施した。設計を担当した圧延機部門では、解析検討結果から要求される仕様と、実際の開先加工、溶接施工を両立させる設計を行った。応力を低減させるため少しでも鋼材構成を修正したい解析側と、複雑すぎて実際の溶接が困難と懸念する施工側、その両者を納得させる設計を行うことは大変困難な作業であった。

また、スプリングに蓄積されたエネルギーを一気に解放する破断ボルトには、瞬時の動作を確保するため延びが少なく一瞬でせい性破断することが求められる。このため破断部分のノッチ形状は鋭くすることが求められたが、実際に加工可能なノッチ形状には限界がある。また2 000 G を発生させる巨大なエネルギーをボルト1本で蓄積するためにはM240という巨大なボルトが必要である。しかし、これを実機として実現すると、加工、組付け、または、破断したボルトの交換作業性などいろいろな懸念事項があった。このため圧延機部門では、専用のねじゲージを用意するとともに、破断ボルト交換用の専用ジグを提案・製作した。このジグによる破断ボルト組付けの様子を第4図に示す。これは破断ボルトのセットも、破断したボルトの折れ込んだ部分の取外しも、どちらも行えるように工夫しており、また重量物であるボルトつり上げの際も、落下防止ストッパによって安全に作業ができるよう配慮してあ



第4図 破断ボルト組付けの様子
Fig. 4 Assembling status of sheared bolt

る。破断ボルトは1回の試験で1本ずつ消耗する部品なので、その交換作業性は衝撃試験装置運転上の重要な課題だったが、このジグによって安全かつ円滑な作業が可能になっている。試験終了後この装置から取外した破断ボルトを第5図に示す。

このほかにも特注品のスプリングやショックアブソーバ、減速に利用するケブラーロープ、また高速で摺動するブッシュなど、購入品についても実験などを行って検討し、その都度詳細設計に反映しながら設計を行った。

さらに、この巨大で複雑な試験装置を完成させるために



第5図 衝撃試験後の破断ボルト
Fig. 5 Sheared bolt after testing

は、圧延機関連の製造部門の技術を忘れることはできない。最終的な組立てと総合試運転を担当した横浜第2工場では、初めて経験する機械でありながら、スケジュールどおりに問題なく加工、組立てを終えている。また輸送のためにばらばらに分解された200tの部品を、1か月足らずという日程を全く遅らせることなく据付けた建設部門の技術は、防衛庁（現防衛省）という普段の現場とは異なる環境にあってもジャストインタイムを実現したレベルの高い工事を実現させた。

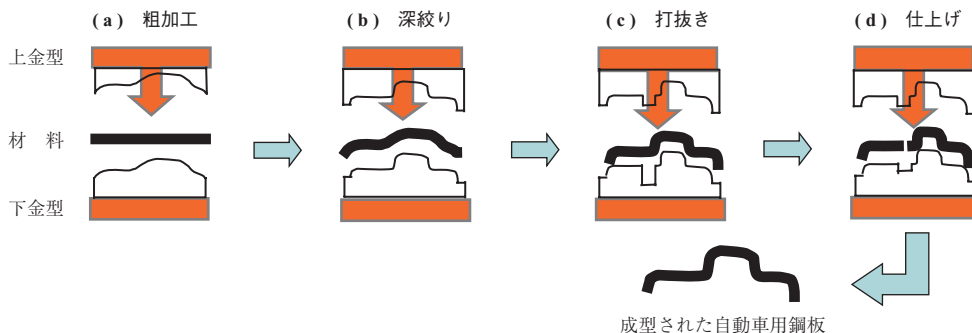
3.4 現在のG2000 衝撃試験装置

このG2000 衝撃試験装置は稼働開始から5年を経過した現在も順調に運転を続けている。また2000年10月には防衛庁規格「NDS C 0110E 3.21 高衝撃（水中爆発）試験」に採用され、高衝撃試験の標準にもなっている。

このように強い衝撃と振動にさらされる巨大な装置を、安定して稼働させる技術は、画期的なアイデアを圧延機部門の設計、製造ノウハウで裏付けした結果、実現できたものと考えている。また、このような全く類を見ない装置の設計では、さまざまな部門やメーカーとの調整が必要であるが、それぞれの意見を設計に反映し、状況に応じて臨機応変に対応していけるのも、圧延機部門のインデント製品に対する長所が反映された結果だと考えている。

4. 自動車用プレス的高速搬送装置

自動車のボンネット、ドアパネルなどを成型するプレスには、高い生産性が要求される。また平坦な鋼板に対し美しい曲面をもつ自動車用パネルに成型するためには、粗加工、深絞り、打抜き、仕上げなど、さまざまなプレス加工が必要である。第6図に、プレス工程を示す。したがって一般的には、何台ものプレス装置を並べてライン化し、順次連続してプレス加工を行うプレスラインが構成される。またさらなる生産性を追求し、このライン構成を一体



第6図 プレス工程
Fig. 6 Pressing process

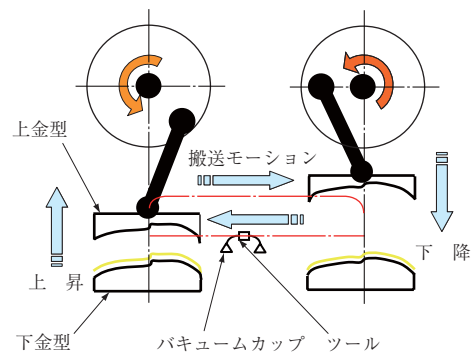
化して一つの設備の中に納めたトランスファープレスなどが開発されてきた。

しかし、自動車のモデルが多様化し、一つの部品の大量生産よりも、単独ラインでさまざまな部品を加工することが求められる現在、トランスファープレスよりも汎用のタンデムプレスラインが主流となってきた。ここで問題となるのが、各プレス間のワーク搬送であり、さまざまな部品に対応する汎用性がありながら、安定して高速にワークを搬送する装置の開発が求められた。

4.1 自動車用プレスのワーク搬送

数台のプレス装置が並んだタンデムプレスラインで、そのプレス間のワーク搬送を安全に、かつ安定して行うためには機械装置による自動化が欠かせない。したがって、一般的には汎用の多関節ロボットを用いて、バキューム装置などを介してワークを把持し自動的に搬送を行っている。またプレス成型されたワークはさまざまな形状をしているため、それぞれのワークに対応した把持ツールと、そのツールの軌道、すなわち搬送モーションが用意される。第7図に、搬送モーションを示す。

しかし、この自動搬送装置が誤動作を起し、金型と干渉すると自動搬送装置が破損するばかりでなく、高価な金型



第7図 搬送モーション
Fig. 7 Transfer motion

を損傷させる恐れがある。このような問題に対して従来のトランスファープレスでは、**第8図**に示すようなカムとリンク機構を用いて、金型と搬送装置の動きを干渉しないように連動させていた。

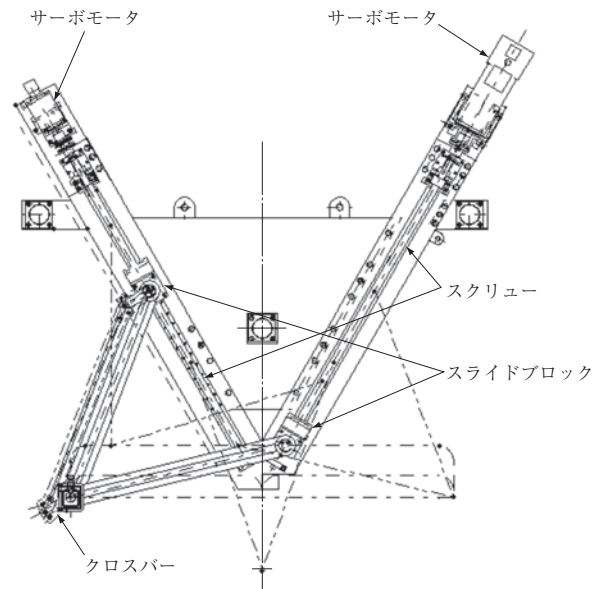
他方、多関節ロボットを用いたプレスラインでは、ロボットは上行程が終わったのを確認してからワークを取出し、下行程にセットしたことを確認してから次のプレスが動き出すという生産性の低いものになっている。また多関節ロボットは汎用を目的に作られており、大型のワークを搬送する場合は大型のロボットを使わざるを得ず、可動部質量が大きくなり、搬送速度を上げられないなどの不都合が生じている。そこで近年注目を浴びているものが、よりプレスのワーク搬送に特化した専用の搬送ロボット、つまり高速搬送装置である。

4.2 高速搬送装置の開発

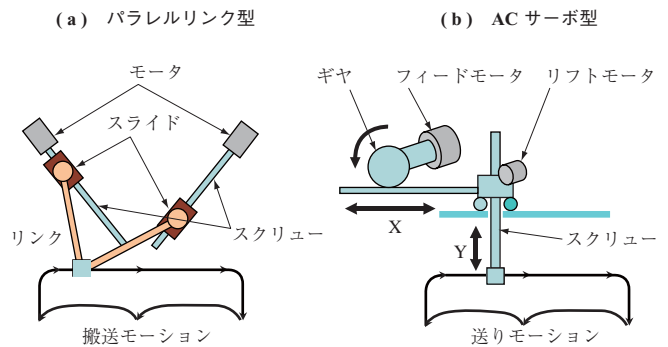
自動車用パネルを安定して早く運ぶために、平行リンク機構を用いたパネル搬送装置を考案した。その概要を**第9図**に、また従来のACサーボ型搬送装置との比較を**第10図**に示す。

平行リンク機構は制御対象であるエンドエフェクタとベースの間を複数のアクチュエータで直接接続するリンク機構である。このため多関節ロボットに代表されるシリアルリンク機構と比較すると、可動部分の質量が小さく、高速で高剛性のモーションシステムを構築できるなどの特長がある。

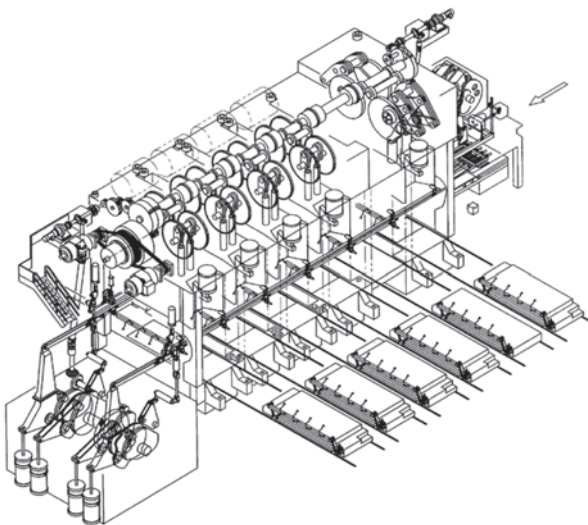
またACサーボ型搬送装置は、トランスファープレスに設置され、従来のカム機構を廃してサーボ化し、任意の搬送モーションを実現する高速搬送装置である。しかし、従



第9図 高速搬送装置概要
Fig. 9 Outline of high speed feeding system



第10図 搬送装置の特徴
Fig. 10 Feature of feeding system



第8図 トランスファープレスの搬送装置
Fig. 8 Feeding system of the transfer press

来の搬送機構を踏襲し、カム部分をサーボモータとしたその構造によって、可動部分が大型になるので、搬送速度を上げるのには限界があった。

これに対して、新しく考案した平行リンク式搬送装置は、可動部分にアクチュエータを搭載しない軽量、コンパクトなデザインであり、平行リンク機構の特性を生き、アクチュエータの誤差やガタがワーク部分で平均化され、多関節ロボットと比較すると高剛性であるという特長がある。

4.3 実機化

自動車用プレスのワーク搬送に平行リンク機構を採用する試みは、その構想時点で数々の利点が予測されたが、その実機化についてはさまざまなリンク構成が考えられ、設計は試行錯誤の連続であった。



第 11 図 実験装置

Fig. 11 High-speed feeding test machine

搬送距離一つにしても、新規にプレスラインを設計する場合には、搬送効率からプレス間は短くすることが望まれるが、プレスそのもののメンテナンス性という観点からは、ある程度のスペースも要求され、これを両立する搬送距離とそのスペースに収まる搬送装置の構成は幾度も検討し直しになった。また、パラレルリンク機構のレイアウトについても、アクチュエータを平行に配置したものや、リンク機構を工夫してより長距離を搬送できるものなど、幾つもの機構を考案、検討した。

以上の結果採用したものが、アクチュエータを V 字に配置した第 9 図の構造である。その実験装置を第 11 図に示す。この実験装置で実機相当の搬送モーションをテストしたが、実機相当の 20 SPM（SPM：1 分当たりの搬送枚数）の搬送速度を実現できた。また、設計的には可動部分の質量を従来に比べて 40% 低減できた。本搬送装置を適用したタンデムプレスライン 1 号機はすでに稼働中である。

5. 結 言

本稿では、圧延機および圧延設備の設計、生産技術を活用した G2000 衝撃試験装置と自動車用プレスの高速搬送装置を紹介した。

現在、圧延機部門ではさまざまな技術開発に取り組んでいる。これは圧延機および圧延設備があらゆる機械技術の集合体であることに他ならない。また、そのなかからストリップキャスタや、連続熱間圧延設備などを世界で最初に実用化してきた。

今後とも、圧延機という伝統技術を基本として、さらなる新技術を追求し、顧客の夢を実現する製品を実現していく所存である。