

自動車車体パネルの世界最速 サーボプレスラインの開発



田岡 秀樹

ホンダエンジニアリング(株)



廻 秀夫



東 昌幸

本田技研工業(株)



池原 秀徳



橋本 政一

アイダエンジニアリング(株)



河野 泰幸

従来のプレスラインでは成形不可能であったデザイン性の高い自動車車体用パネルを世界最高水準の生産性で成形可能な高効率サーボプレスラインを開発した。生産する部品毎にプレス成形条件とパネルの搬送条件を最適化するシステムにより、従来+50mmの深絞り成形と+50%の生産性の向上の両立を可能とした。

1. はじめに

ホンダエンジニアリング(株)は、アイダエンジニアリング(株)との協力により従来のプレスラインでは成形不可能であった自動車車体部品の深絞り成形パネルを世界最高水準の生産性 (Max18SPM=Strokes Per Minute) で生産可能な革新的サーボプレスラインを開発し、本田技研工業(株)鈴鹿製作所に導入した(写真1)。深絞り成形と高い生産性の相反する要求に対し、従来の生産ラインへの合わせ込み型の金型造りの考え方から脱却し、生産する部品毎にプレス成形条件とパネルの搬送モーションを高精度に金型に合わせこむ革新的プレス生産システムの開発により、深絞り成形パネルの高効率生産と圧倒的に短い新機種リードタイムの実現、そして省エネルギー生産を



写真1 世界最速サーボプレスライン外観

可能とした。今後、この生産システムとプレスラインを Honda のグローバルスタンダードとして世界中の生産拠点への戦略的な拡大展開を計画している。

2. 背景と目標

近年、世界的な経済環境の変化の中で自動車業界を取り巻く環境は、更なる低コスト化要求やデザイン進化、高品質化、環境性能の向上といった商品競争力の強化に対する強い期待に加えて、大量生産か

ら多品種少量生産への生産形態のシフト、生産にかかるエネルギーの低減、原材料使用量の低減など生産体質の強化、環境問題への対応といった領域まで多様化してきている。Honda は自動車車体部品のプ

レス生産において、これまでのメカプレスによるトランスファープレスやタンデムプレスラインでは生産技術上の制約が大きく、今後の大きな進化やお客様のニーズへの対応が困難であることと生産エネルギーのロスが大きいことから、次世代に向けた大幅なプレスラインの生産体質の改革が必要と考えた。本開発は、生産効率の極限追求と商品進化への対応の両立を可能とし、今後30年間に渡り世界のベンチマークと成りうる圧倒的競争力をもつ『次世代プレス生産システム』を構築することを目的として開発

をスタートした。具体的な目標値は、表1のように置いた。

表1 開発目標

項目	目標
成形性向上	従来+50mm 深絞りデザインの具現化
加工コスト削減	従来比▲10%以上
生産性	世界最速 18SPM
省エネルギー	従来比▲30%以上

3. 開発技術の概要

本開発によるプレスラインは、4台のサーボプレス機とサーボフィーダ（工程間パネル搬送装置）から構成されるタンデムプレスラインである。使用機器のサーボ化の狙いは、プレス機と搬送装置の同期制御とプレス機の位相差運転によるサイクルタイムの向上にもあるが、最大の狙いはプレス成形条件とパネルの搬送条件を生産部品毎に最適化することにある。従来のプレスラインではほぼ一定であったプレスのスライドモーション、パネルの搬送モーションをプレスの成形性、搬送自由度、搬送速度の各々が最大となるように各パラメータの最適化を行う。これにより、これまで成形不可能であったデザイン性の高い深絞り成形と世界最高水準の生産性の両立を可能とした。本システムを構成する開発技術の概要を以下に記す。

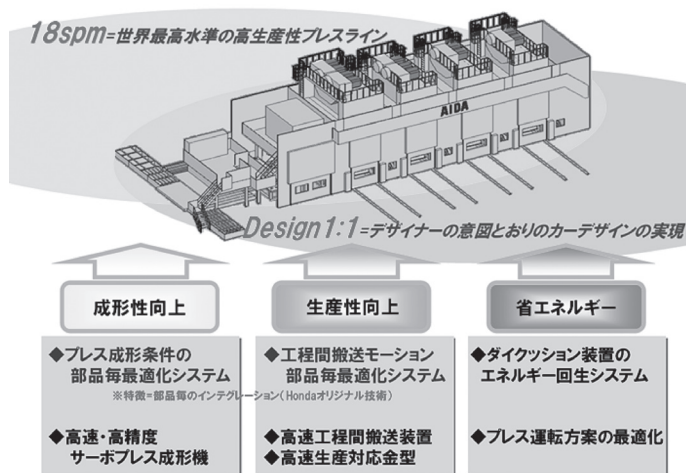


図1 開発技術一覧

3. 1 高速・高精度サーボプレス

サーボプレス成形機の開発においては、深絞り成形が可能であることと、プレスストローク速度の高速化（連続ストローク 27 SPM）が求められた。まず

深絞り成形の目標値よりスライドストローク長さを1,100 mmに決定した。スライドの駆動機構にはプレス加工域、特に下死点付近のスライド速度が高速であることを重視しエキセンクランク方式を採用した。このロングストロークのプレス機のスライドを高速に動かし、且つサーボ制御による急加減速を行う。エキセンクランク方式はリンク方式に比べて機構がシンプルでモーション制御が簡便になる利点がある。一方で、それを駆動して十分な成形荷重を得るためには、大きなトルクが必要となり、今回の大容量サーボプレスにおいては低速で高トルクを発生

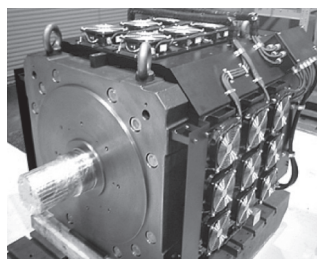


写真2 低速、高トルク型サーボモータ

するサーボモータの開発が必要となった。本開発におけるサーボモータ（写真2）はプレス設備の製造メーカーであるアイダエンジニアリング（株）の独自技術により製造され、Hondaからの要求仕様に対し構造設計、磁気回路設計、冷却構造、CNC制御システムの最適化を行った。これにより、他に類を見ない大容量の高速・高精度サーボプレス（写真3）を具現化した。また、最も加圧能力の大きいドロプレス（加圧能力 23,000 kN）においても4台のサーボモータでの駆動が可能となり、装置設置スペースの低減、設備投資の削減にも寄与している。

一方、目標とした深絞り成形を達成するためには、プレスモーションに合わせてダイクッション圧力を高精度に可変制御する必要があった。本開発におけるドロプレスのダイクッション装置においては電動油圧ハイブリッドのNC制御方式を採用した。油圧シリンダー内の圧力を小型で高速なサーボモータ

を駆動する。油圧シリンダー内の圧力を小型で高速なサーボモータ



スライドストローク:1100mm
スライド駆動機構:エキセントリッククランク式
→ 高速ドロ－成形=450mm/s

クッションストローク:350mm
ダイクッション機構:電動油圧ハイブリッド方式
→ 高速精度クッション圧制御
=指令値±2.5%以内

写真3 高速・高精度サーボプレス

タにより制御することで、プレス成形中のダイクッション圧変化に対する高い応答性が得られ、指令値±2.5%以下の高精度な圧力制御が可能となった。また電力回生機構によりダイクッションの仕事量の70%を回生可能であり、省エネルギー化にも寄与している。

3.2 高速工程間搬送装置

高速工程間搬送装置(写真4)の開発に際しては、各プレス工程間をダイレクトに搬送するシステムの開発が求められた。目標となるラインSPMの実現には、5～6mにおよぶ搬送ストロークを1.5秒以下で動作する能力が必要である。しかし、単純なスライド機構でこの要件を達成することは困難であり、必然的に長尺アームを旋回軸で回転させる機構を組み合わせることが必要となった。本開発ではアームの駆動形態として、古くから知られるスコットラッセル平行運動機構をベースに、フィードアームと駆動アームの連結点を短いリンクに置き換えることでリフト方向の作動が可能になる新開発のリンク機構を採用した。従来のスコットラッセル機構は、リフト方向の作動に際して装置全体を昇降させる方法が主流であるため、搬送距離が長くなるにつれて装置全体が大掛かりになってしまうという欠点があった。しかし、本開発方案では装置全体を昇降させる必要がなく、追加適用した短いリンクを作動させるだけでよいため、タンデムラインに求められる高速作動に非常に有利となる。また、平面内での運動を片側



搬送ストローク:5500mm
装置駆動機構:スコットラッセル機構
駆動源:ACサーボモータ
→ 高速搬送=20spm

搬送モーション:可変式トランスファーモーション
ハンドリング形式:クロスバー方式
→ 金型との干渉MIN

写真4 高速工程間搬送装置

2軸+チルト1軸の制御のみで実現することができるため、複数台の搬送装置を接続しても、全体制御軸数を最小限に留めることができた。

この工程間搬送装置の開発は、アイダエンジニアリング(株)との協力のもとに行われた。プレスライン全体を高速で同期制御するためには全体統括するシステムが最も重要であることから、サーボプレスマシンとの同期制御性能を重視したシステム選定を行っている。この同期制御システムは、サーボプレスが上死点から下死点まで全域にわたりスライド位置を高速高精度に制御できるメリットを最大限に活用することで、搬送装置の同期制御性だけでなくプレススライドとの相互位置関係を常に監視し、さまざまなリスクに対処が可能な干渉防止機能も併せて備えている。また、搬送装置の駆動メカニズムは、サーボプレスの開発で得られたノウハウをフィードバックし、サーボプレスと同じく低回転・高トルク型のサーボモータとギヤ駆動方式の組み合わせにより、高速運転に必要な動力性能を実現している。特に、先述のリンクの駆動メカニズムについては、旋回アーム内部を経由して駆動力を伝達することでモーター等の重量物の定置固定化をはかり、フィードアームおよび駆動アームの高速旋を可能にした。パネルの搬送方式は、高速化に優位なトランスファプレスラインの搬送形態を踏襲し、クロスバーカップフィード方式を採用している。フィードアーム先端には、クロスバー中心軸周りに旋回するチルト機能を備えており、その他軸周りの旋回やシフトについては、クロスバーに取り付けたツール部分にて対応を行った。

3.3 成形条件の最適化システム

サーボプレスの能力を最大限活用し深絞り成形の目標を達成するためには、プレス成形条件の最適化が求められた。成形性はスライド速度の制御によるプレス加工速度の適正化とダイクッション圧力制御による材料流入量の適正化により向上する。図2に、深絞り成形の狙い値と各パラメータの寄与度を示す。しかしながら、事前の検証により従来+50mmの深絞りを実現できる成形条件は、ごく狭い範囲にしか存在せず、且つ成形する部品の形状によりその条件が異なることが分かっていた。この最適な成形条件を探すのもっとも原始的なやり方は実際に金型を作成し、種々の条件で成形トライを行い最適解を見つけるということになるが、それには莫大な時間と費用がかかってしまう。また、自動車車体部品の成形、特に車体のデザインを決定する外板部品においては新車開発の早い段階で成形可否判断を行う必

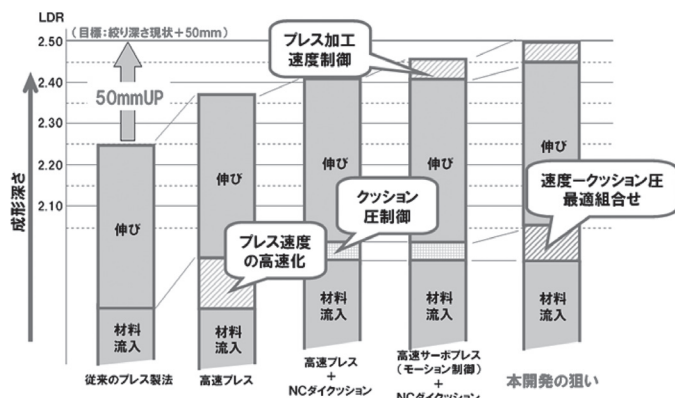


図2 深絞り成形の狙い値と影響因子

要があり、その段階で成形可否判断を金型を使用したトライアンドエラーで行うことは現実的に不可能であるという問題があった。そこで本開発では、プレス成形シミュレーションにより実際にトライアンドエラーを行うことなく最適な成形条件を得られるシステムの開発を行った。システムの概略を図3に示す。プレス成形の過程をいくつかのステップに分け、ステップ毎のプレスの加工速度とダイクッション圧力をパラメータとして最適化ソフトウェアがパラメータを振りながらプレス成形シミュレーションによる解析と結果の評価を行う。最終的に得られた解析結果の最小主ひずみと板厚減少率の結果より、両者のバランスが良好となる範囲の中央値を最適な成形条件として、サーボプレスのモーション制御とダイクッション圧制御のデータに変換するものである。しかし、既存のプレス成形シミュレーションにおいては解析の前提において、材料の応力-ひずみの関係と摩擦係数を常に一定として取り扱っているため、シミュレーションソフトの中で加工速度を変化させても得られる解析結果が変化しないという問題があった。そこで本システムで使用するサーボプレス成形シミュレーションソフトの開発を行った。材料の応力-ひずみの関係の速度依存性を再現においては、各成形過程における成形解析モデルのひずみ速度を算出し、そのひずみ速度に応じて応力-ひ

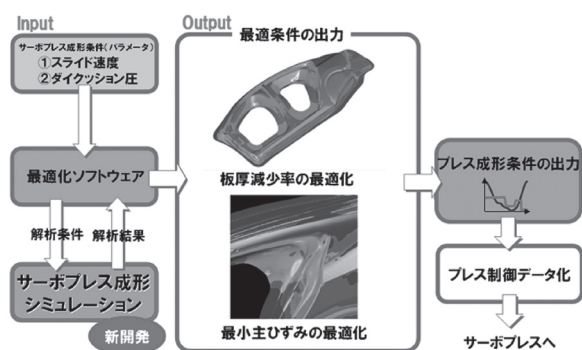


図3 プレス成形条件最適化システムフロー

ずみの関係を切り替えるモジュールを追加した。また、摩擦係数においても同様に速度依存性と接触面圧の影響を正しく再現する仕組みを取り入れた。これにより各成形パラメータの変化に対し成形結果を正しく出力することが可能なプレス成形シミュレーションを具現化した。本システムにより、新車開発の早い段階でサーボプレスの能力を最大限に活用したデザインの適用可否判断が可能となり、また生産準備における部品毎のプレス成形条件の自動設定が可能となった。

3. 4 搬送モーションの最適化システム

深絞り部品を高速生産する上で、製品の工程間搬送においては搬送モーションの自由度を上げながら無駄を極限まで少なくすることが求められた。これまでのプレスラインにおいては、搬送モーションは少ないいくつかのパターンに限定されており、そのモーションに合わせて金型の設計を行う必要があることから、生産する製品の形状に制約が生じたり、生産性 (SPM) を犠牲にする場合があった。本開発においては、これまでの発想を逆転し、金型の形状に対して最適なモーションで製品の搬送を可能とし、それを自動作成するシステムの開発を行った。搬送モーション最適化の考え方を以下に示す (図4)。

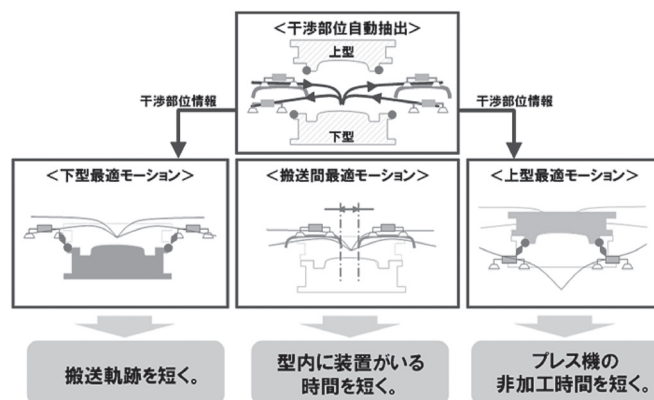


図4 搬送モーションの最適化

- ①下型と搬送ツールのクリアランスを最小化することで搬送距離を短くする。
- ②隣り合う搬送ツールの接近可能距離を最小化することでプレス機内に装置が入っている時間を短くする。
- ③上型と搬送ツールのクリアランスを最小化することでプレス機の非加工時間を短くする。

これらの考え方により金型の3D設計データを用い、前述のプレス成形条件最適化システムにより作成されたプレスモーションのデータと合わせて各工程の搬送モーションを自動計算する。計算された搬

送モーションはプレス成形条件とセットでプレスの運転データとしてサーボプレスラインの集中制御盤のデータバンクに送信される(図5)。これらのシステムにより、ラインオペレータは生産する製品の運転データをデータバンクから呼び出すだけで製品に最適な加工条件で深絞り部品を高速生産することが可能となった。

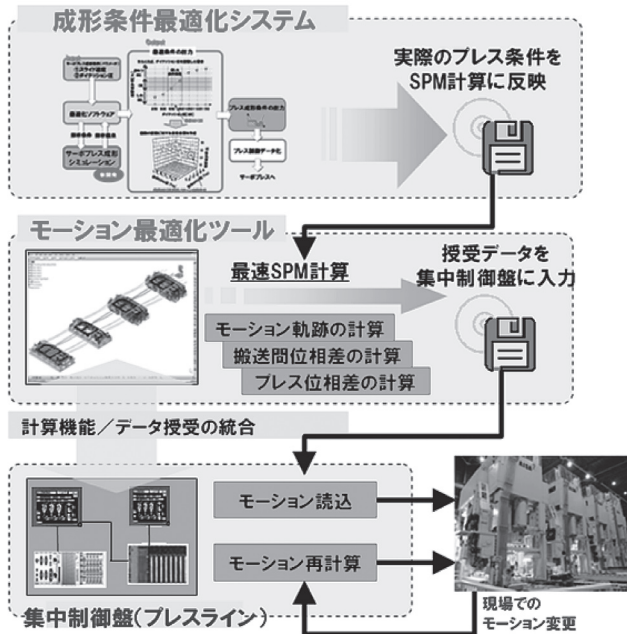
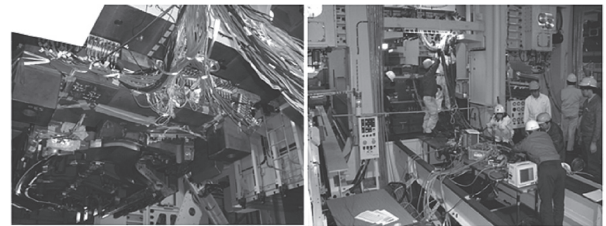


図5 プレスライン総合運転システムフロー

3. 5 高速生産に対応した金型構造

ラインの高速化にあたり、プレス機単体での加工

サイクルが最大27SPMに達し、またスライドストロークを1,100 mmと大きくしたこと、金型においても加工時の最大速度がこれまでの約1.7倍となり、型構造や適用部材の材質変更などの対応が必要と考えられた。そこで実際に、高速運転状態での金型の挙動と応力状態を測定し対策が必要な部位の特定をおこなった(写真5)。特定された項目のうち、規格品で対応が可能な部位については、それに合わせて設計基準の変更を行ったが、上型に吊り下げる構造部材(ベンドパッドなど)の吊り下げピンについては上型を引き上げる際のピンに加わる衝撃荷重が大きく、これまでの規格品では数千ショット足らずで破損してしまうという問題が生じた。そこで本開発では内部に衝撃荷重を分散し吸収する緩衝媒体を封入した Honda オリジナルのピンの開発を行った。実際の高速生産の条件下においても30万ショット以上の耐久性が確認され、安定生産に寄与できると考えられる。



金型ヘンサー(ひずみゲージ、渦電流計、加速度計)を取付け、高速運転時の型剛性・強度を確認

写真5 高速運転における金型挙動測定の様子

4. 開発効果

4. 1 深絞り成形

本開発における深絞り成形の実用事例を図6に示す。FCX ClarityはHondaが2008年に上市した燃料電池車である。このキャビン後方の絞り込みと張出したリアフェンダーによる立体的な造形を具現化するためには、サイドパネルアウターの成形においては、これまでのプレスラインの限界を超えた+50mmの深絞り成形技術が求められた。本開発においては、この深絞りアウターの成形において2つのアプローチの比較を行った。ひとつは実際に金型を製作し、成形トライを繰り返すやり方、もうひとつは前述のプレス成形条件最適化システムを使った方法である。金型を用いた成形トライでは約6か月にわたりトライアンドエラーを繰

り返したが、最後までワレのない成形品を得ることはできなかった。一方、成形条件最適化システムにおいては数十時間での計算により最適な成形条件を

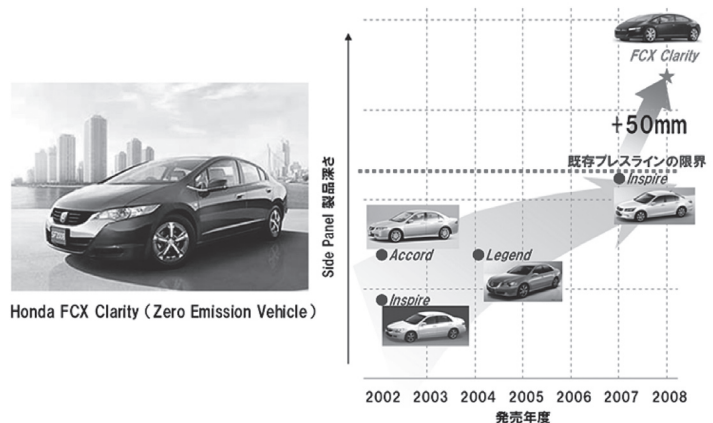


図6 深絞り成形の実用事例

導き出し、その成形条件により1回のトライでワレ、シワの無い良品を得ることが可能であった。この比較検証により本開発システムの圧倒的効果が実証された。

4. 2 成形性、生産性の向上

本サーボプレスラインにおける代表的な部品の成形深さと生産性 (SPM) を表2に示す。成形深さについてはデザイン上深絞りが要求されるサイドパネルアウターやフロントフェンダーにおいて従来+50mmの深絞り成形が可能となった。生産性においてはこれまでのトランスファープレスに対し全ての部品で40%前後の生産性の向上を確認している。また、ドアスキンの様な成形深さの浅い比較的フラットな部品においては、18 SPMという大物自動車車体部品のプレス成形における世界最速生産を達成した。

表2 代表的部品の生産性

部品名	成形深さ	従来 SPM	本開発ライン SPM	Plus%
Side Panel Outer (深絞り)	250mm	—	14.5spm	—
Side Panel Outer (従来深さ)	200mm	11.0spm	16.0spm	+ 45.0%
Front Fender Panel (深絞り)	270mm	—	13.0spm	—
Front Fender Panel (従来深さ)	220mm	11.0spm	15.3spm	+ 39.1%
Door Outer	60mm	13.0spm	18.0spm	+ 38.5%
Door Inner	140mm	12.0spm	16.9spm	+ 40.8%

4. 3 省エネルギー生産

本開発におけるプレスラインの生産エネルギーの削減効果を図7に示す。プレス設備のサーボ化により従来のメカプレスでは上死点停止で必要であったクラッチ、ブレーキの操作にかかるエアの消費が削減された。また、前述のダイクッションエネルギーの回生システムによる電力削減効果とサーボプレス連続運転時のジュール熱の発生を抑制する運転モードの適用により電力使用量を大幅に低減することができた。これまでのメカプレスラインにおける生産エネルギーに対し30% (CO₂換算で年間500トン) 以上の生産エネルギーの低減を達成した。

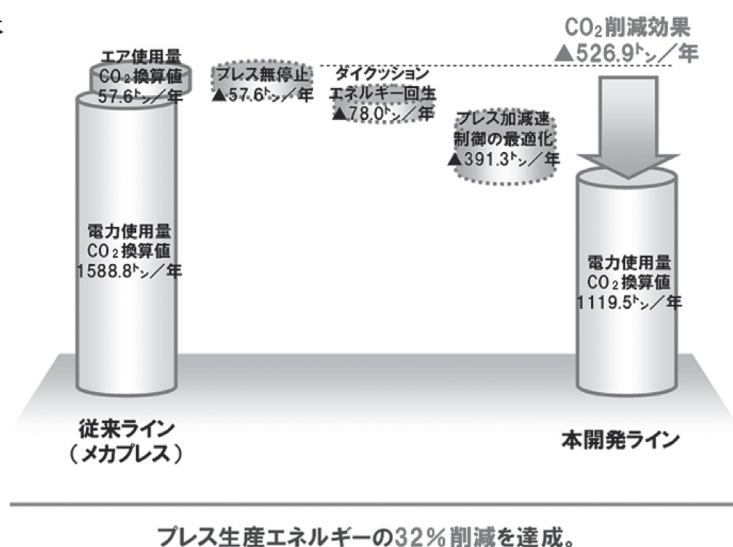


図7 生産エネルギー削減効果

5. まとめ

本開発により Honda は世界最速のサーボプレスラインと深絞り部品を高効率に成形可能な生産システムの具現化を達成した。本サーボプレスラインは、今後更なる進化を続けながら Honda のグローバル生産拠点への拡大展開を予定している。このサーボプレスラインが、自動車車体部品の生産における高速ラインのベンチマークとなり、今後の自動車車体部品におけるプレス生産の改革への原動力となることを期待する。

また、今後 Honda はこの新しい生産システムをプレス生産の領域のみならず自動車車体生産の各領

域において最大限に活用する取り組みにより、『お客様の期待を超える魅力ある商品』を圧倒的に短いリードタイムで供給し、新しい感動と喜びを、世界中の人々に向けて提案していきたいと考えている。

ホンダエンジニアリング株式会社
<http://www.honda.co.jp/EG/>
 本田技研工業株式会社
<http://www.honda.co.jp/>
 アイダエンジニアリング株式会社
<http://www.aida.co.jp>