

特集論文

世界初 3 000 ton 型締め力電動射出成形機

3 000 ton Large Size Electric Injection Molding Machine



松尾 識^{*1} 姫野 太充^{*2} 別所 正博^{*3}
Shiki Matsuo Takamitsu Himeno Masahiro Bessho
筒井 健司^{*4} 加藤 直紀^{*5} 水野 貴司^{*6}
Kenji Tsutsui Naoki Kato Takashi Mizuno

世界初の 3 000 ton クラスの型締め力電動射出成形機 3000 em/3500 em は、バンパー等の自動車用大型プラスチック部品の世界最速のハイサイクル生産のニーズに対応しながら、当社独自の 2 プラタン型締機構とハイブリッド型電動システムにより省スペースと省エネを実現するとともに、新開発センタープレス型盤と電動型内圧波形制御により成形品のバリを抑制したバリレス成形を可能として、お客様のランニングコスト低減に応える超大型電動射出成形機を開発した。

1. はじめに

プラスチック製品・部品を生産する射出成形機は、従来の油圧式に比べてクリーンで省エネ性に優れた電動式が需要を伸ばし大型化が進んでいる。バンパーに代表される自動車用大物部品成形の主要な課題は“ハイサイクル”、“バリ抑制”、“薄肉化”である。これらのニーズに対応するために、独自の新型センタープレス型盤と電動型内圧波形制御によりバリレス成形を可能とし、高速型開閉／ナット開閉システムと高可塑化スクリュにより世界最速の生産サイクルを可能とし、2 プラタン型締機構とハイブリッド型電動システムを採用した省エネ省スペースの型締め力 3 000 ton クラスの超大型電動射出成形機 3000 em 及び型締め力 UP 仕様の姉妹機 3500 em を世界初に開発した。平成 17 年 4 月より量産初号機を納入開始した 3000 em は順調に立ち上げ稼働し、お客様にご好評を戴いている。

2. 機器構成と特長

3000 em は、次世代の大型自動車部品成形機としてお客様のニーズ“加工費削減”、“材料費削減”と“ランニングコスト低減”に応えることを目的に商品コンセプトを実現した成形機である。技術開発の概要を図 1 に、表 1 に 3000 em の性能諸元を当社油圧機 3000 MMⅢ と対比させて示す。

3000 em の最大の特長は、当社独自の省スペース 2 プラタン式型締機構にあり、可動盤のサーボモータによる開閉機構と、省エネ型低騒音のエコポンプシステムによる油圧締付機構を組合せたハイブリッド方式を採用することにより、電動式のもつ高速高精度再

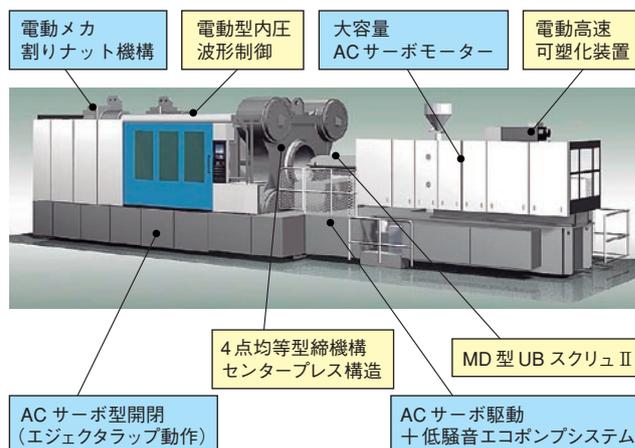


図 1 技術開発の概要

現性と、大きな力の制御に優れた油圧式の組み合わせで、省スペース（機長 15 m 以下、他社トグルリンク式型締機構対比約 25 % 短縮）かつ省エネ（油圧機対比 60 % 消費エネルギー低減）とした“世界最小機長の電動射出成形機”を実現したことにある。

成形品のバリを無くしてお客様ランニングコスト低減に応えるため、当社独自の中押し構造である新型センタープレス型盤と、射出軸駆動に搭載した高応答性の当社製大容量 DD（ダイレクトドライブ）サーボモーターを 4 軸同期制御して金型内の溶融樹脂圧を低圧にコントロールする電動型内圧波形制御を開発し、バリレス成形を可能にした。

世界最速の生産サイクルを、高速型開閉／ナット開閉システムとバンパー材専用の MD メルタ付 UB スクリュにより実現し、従来当社機の 45 秒サイクルを最速 30 秒サイクルに 30 % 短縮して生産性を大幅に向上させた。

*1 技術本部名古屋研究所産業機器研究室主席研究員

*2 技術本部名古屋研究所材料・強度研究室

*3 技術本部名古屋研究所産業機器研究室

*4 技術本部名古屋研究所パワーエレクトロニクス・制御研究室

*5 三菱重工プラスチックテクノロジー(株)開発部

*6 三菱重工プラスチックテクノロジー(株)開発担当主幹

表 1 性能諸元対比

項目	電動機 3000em		油圧機 3000MMⅢ	
	470		470	
スクリュー径 (mm)	150	150	150	150
スクリュー L/D	—	22	18	18
型締方式	—	エレクトロハイドロ方式	—	ハイδροメカニカル方式
型締力 (kN (tf))	29 420 (3 000)	29 420 (3 000)	29 420 (3 000)	29 420 (3 000)
離型力 (kN (tf))	1 824 (186)	1 824 (186)	1 824 (186)	1 824 (186)
デライト最大 (mm)	3 700	3 700	3 700	3 700
金型厚さ (mm)	1 000~1 900	1 000~1 900	1 000~1 900	1 000~1 900
最大型開ストローク (mm)	2 700	2 700	2 700	2 700
ダイバー間隔 H×V (mm)	2 050×1 900	2 050×1 900	2 000×1 800	2 000×1 800
型盤寸法 H×V (mm)	3 200×2 500	3 200×2 500	2 550×2 450	2 550×2 450
最小金型寸法 (mm)	1 290×1 290	1 290×1 290	1 290×1 290	1 290×1 290
型開閉速度 (型閉/型開) (m/min)	50	50	42/36	42/36
エジェクタ突出ストローク (mm)	350	350	350	350
エジェクタ突出力 (kN/min)	392 (40)	392 (40)	686 (70)	686 (70)
エジェクタ速度 (前進/後退) (m/min)	12.5	12.5	5.6/3.9	5.6/3.9
射出ストローク (mm)	750	750	750	750
理論射出容量 (cm ³)	13 200	13 200	13 200	13 200
射出重量 (OZ.)	466	466	466	466
スクリュー回転速度 (rpm)	167	167	118	118
最大射出圧力 (MPa)	177	177	161	161
(kgf/cm ²)	(1 800)	(1 800)	(1 640)	(1 640)
最大射出率 (cm ³ /s)	2 030	2 030	1 275	1 275
最大射出保持圧力 (MPa)	147	147	161	161
(kgf/cm ²)	(1 500)	(1 500)	(1 640)	(1 640)
射出馬力 (kW)	359	359	205	205
(PS)	(488)	(488)	(278)	(278)
可塑化能力 (PP) (kg/h)	860	860	680	680
ノズルタッチ力 (kN (tf))	98 (10.0)	98 (10.0)	59 (6.0)	59 (6.0)
機械寸法 (L×W×H) (m)	15.2×4.8×4.0	15.2×4.8×4.0	13.2×4.8×3.9	13.2×4.8×3.9
エネルギー消費量 (kWh/shot)	1.14 油圧機比 43% (AC サーボモータシステム)	1.14 油圧機比 43% (AC サーボモータシステム)	2.63 (油圧システム)	2.63 (油圧システム)

3. センタープレス型盤構造とバリレス

3.1 センタープレス型盤

2プラタン式型締機構は、タイバー4本に均等な型締圧力をかける機構であるため、トグル式型締機構に対して金型温度の影響や偏芯キャビティ形状金型の影響が少なく、型締精度を長期に維持できる等の利点がある。しかし、この4点型締機構においてもトグル式型締機構と同様に、センター押しの直圧式油圧成形機と対比して、型盤端を支点とした型盤の湾曲変形が金型に影響を与えやすいという弱点があるため、金型に口開きが生じてバリが発生しやすい傾向が見られた。図2に型締め機構の比較を示す。そこで型盤構造と金型構造を連成させた金型口開き変形解析手法をもとに、固定盤・可動盤ともタイバーの荷重点から型盤中央部に力線が流れるようなリブ構成として直圧と同様な荷重均一性の確保を狙った当社独自のセンタープ

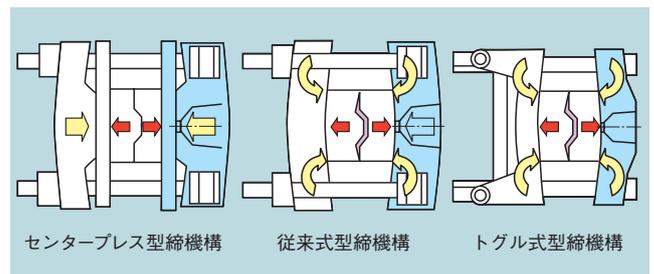


図2 型締め機構の比較

レス型盤を開発し、金型口開き量を低減、バリ発生を抑制した。

3.2 金型口開き変形解析手法の開発

成形機の設計段階において、成形品のバリを無くすためには、金型口開き量の予測を行う手法の開発が必要である。そこで、従来のような型盤単体の強度・剛性設計に留まらず、図3に示す型盤の間に金型（固定型、可動型）を挟んだモデルを作成し、接触解析によ

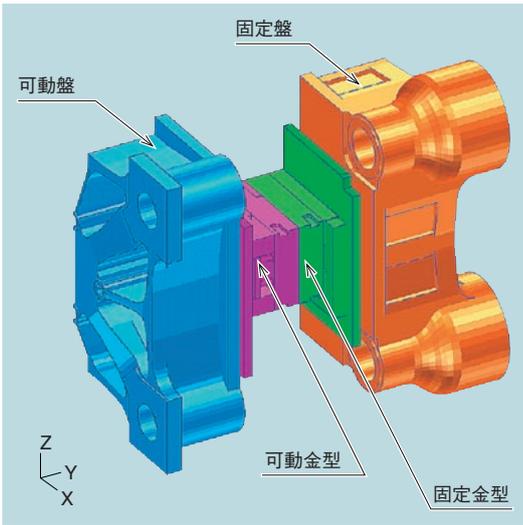


図3 金型口開き解析モデル

り金型内パーティング面の口開き量を求める解析手法を構築した。まず樹脂流動解析により求めた金型内の樹脂圧分布を、構造解析の境界条件として解析し、金型内パーティング面の接触荷重分布を求めることとした。図4より、金型同士が接触していない範囲は比較的広く、特に樹脂圧の高いゲート周りは、金型口開き状態にあると予想された。自動車部品の金型を用いて成形試験し、ギャップセンサー位置における金型口開き量の実測値と解析値の比較を図5に示す。金型口開き量の解析精度は約 - 30 ~ + 10 % の範囲内にあり、

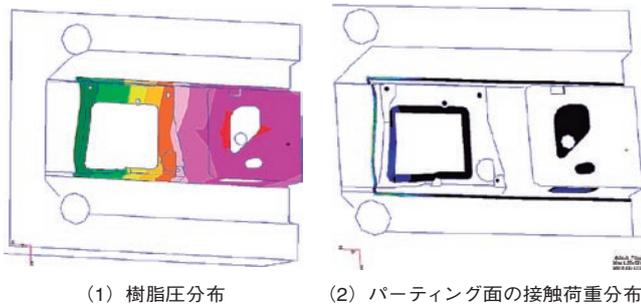


図4 金型内解析

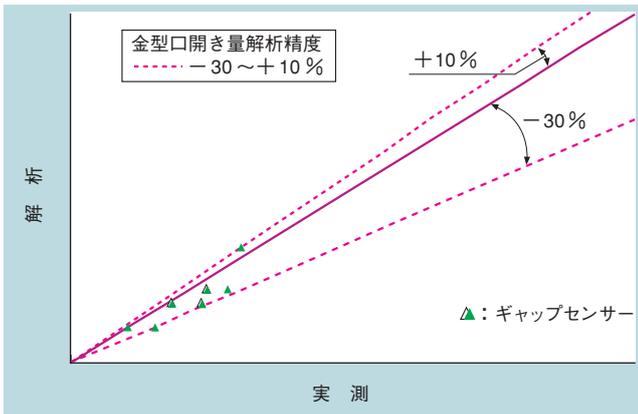


図5 金型口開き量の実測値と解析値の比較

金型口開き量解析手法として実用可能であることが確認できた。

3.3 バリ発生限界の金型口開き量

バリ発生限界の金型口開き量の相関を調べるため、ギャップセンサーを埋め込んだ金型を用いて成形試験を行い、バリが発生するときの金型口開き量を計測した。図6に計測結果の一例を示すように、ギャップセンサーによる金型口開き計測値がある一定値以上でバリ発生しており、各計測位置においても同様にバリ発生と金型口開き量との間には相関のあることが確認できた。なお、バリ発生は金型が口開いた際にできる隙間への侵入であるため、発生限界の金型口開き量は樹脂の粘度、温度、圧力等に依存するが、バンパー成形に使用される樹脂材料PP（ポリプロピレン）のバリ発生限界を基準に検討を進めた。

3.4 センタープレス型盤によるバリレス

金型口開き量解析手法を用いて、バンパー形状を模擬した金型の口開き量を新型センタープレス型盤と従来型盤とで比較し図7に示す。新型センタープレス型盤の方が、金型中央E部の口開き量をほぼ零に低減しており、ゲート周りの口開き量を大幅に改善されバリを大幅に減らす事が期待できる構造である。

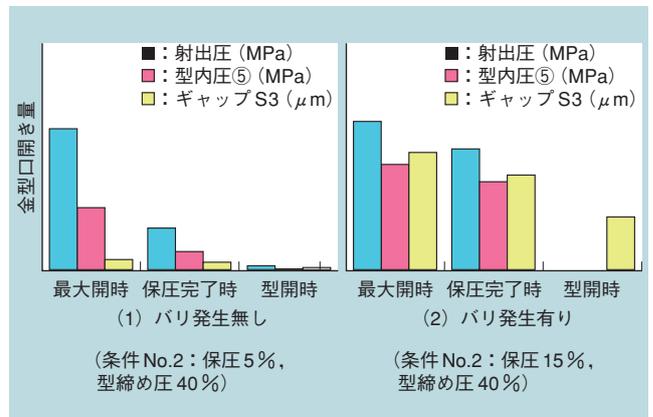


図6 金型口開き量計測結果

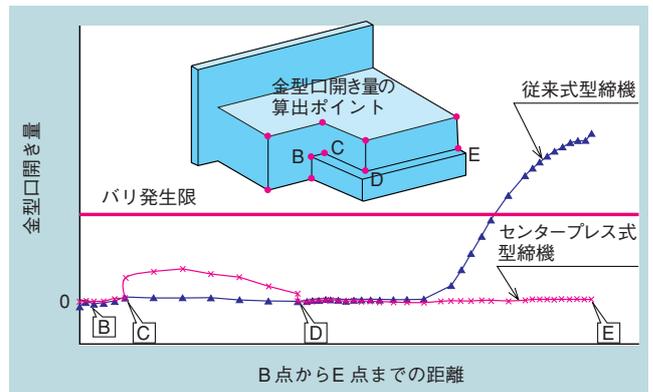


図7 新型センタープレス型盤と従来型盤の金型口開き量比較

4. 電動型内圧波形制御

バンパーの薄肉成形に対応するため、3000 emは4軸のDDサーボモータと4軸のボールねじを同期ベルト等用いることなく同期駆動する多軸同期制御を開発した。これにより射出機構の慣性を低減して薄肉成形に重要な速度応答性を向上させるとともに、ベルトの伸びやズレなどによる制御精度安定性の阻害要因を排除した。

射出制御は、射出速度立ち上がり及び充填から保圧制御への切換時の応答性が重要であり、そのために射出ボールねじ駆動部の慣性を小さくする必要がある。従来のタイミングベルトで結ぶ減速機構と大径プーリを使用すると、慣性力が大きく応答性が低下するため、制御手法のみでは応答性改善に限界があった。そこで当社では独自のモータの電磁気解析技術及び同期制御の高速化技術を活用して、図8に示す射出ユニット専用の低回転高トルク特性の大容量DDサーボモータを開発した。また4軸の駆動機構は同期ベルト等のメカ同期駆動ではなく、4軸のボールねじを制御同期

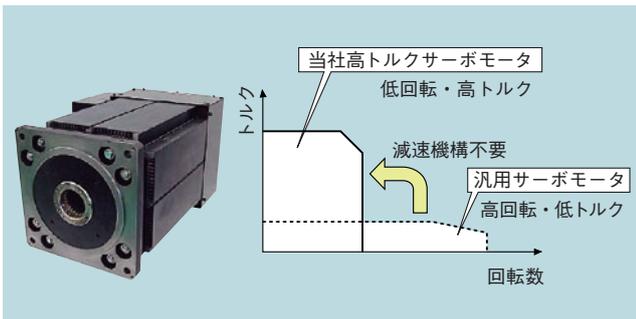


図8 大容量DDサーボモータ

で駆動させるシステムを採用した。図9にそのシステム図を示す。この4軸ダイレクト駆動の射出機構により3000 emの射出速度は、3000 tonクラスで最高レベルの射出率2030 cc/sを射出圧力1800 kgf/cm²を達成し、速度応答性は、油圧サーボ仕様並の特性になっている。

また、この低慣性化と応答性向上により、油圧成形機でしか実現できなかった型内圧波形制御を電動射出成形機においても可能にした。この電動型内圧波形制御と多点ゲート充填（シーケンスバルブ制御）により安定した低型内圧成形が可能になった。図10にバンパー成形における型内圧低減効果を示す。先述したセンタープレス型盤構造との相乗効果によりバンパー成形におけるバリ発生を防止する事ができる。

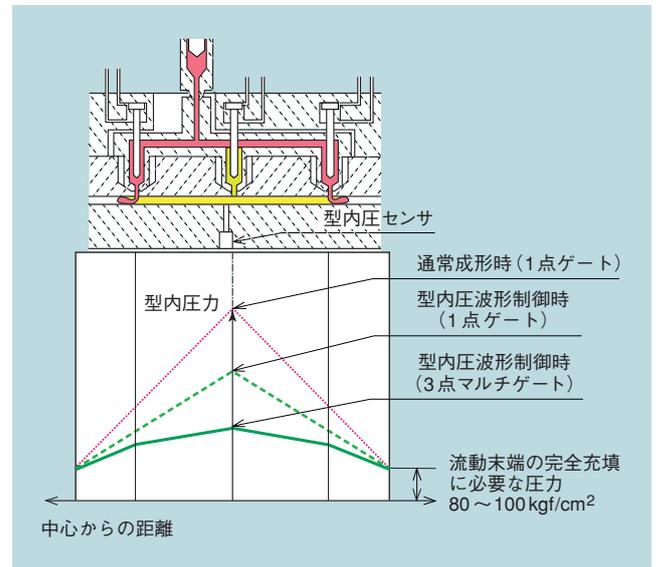


図10 バンパー成形における型内圧低減効果

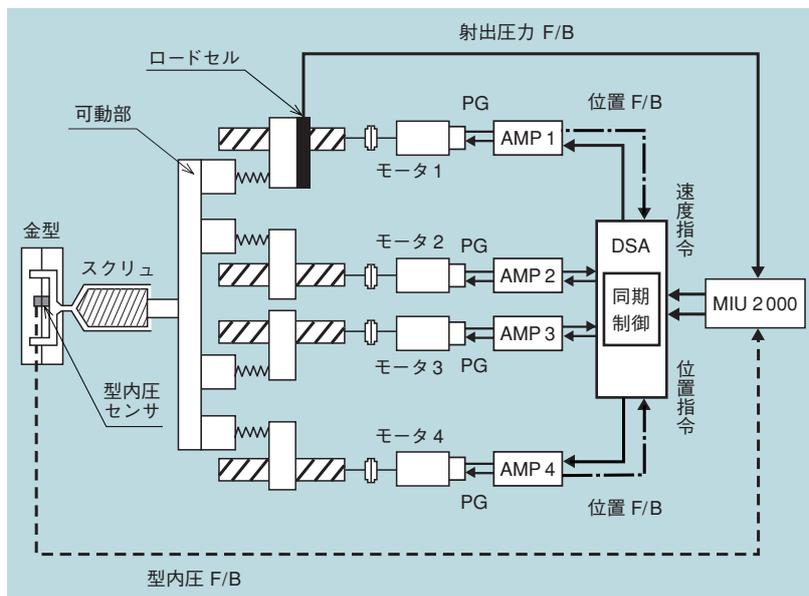


図9 4軸同期制御システム

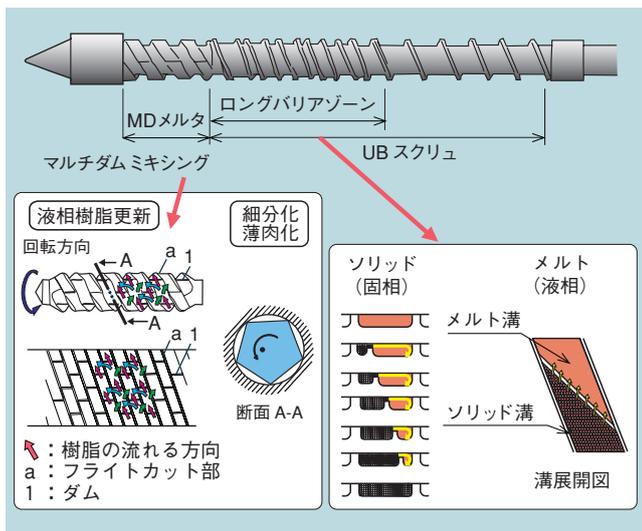


図 11 MD メルタ付 UB スクリュ

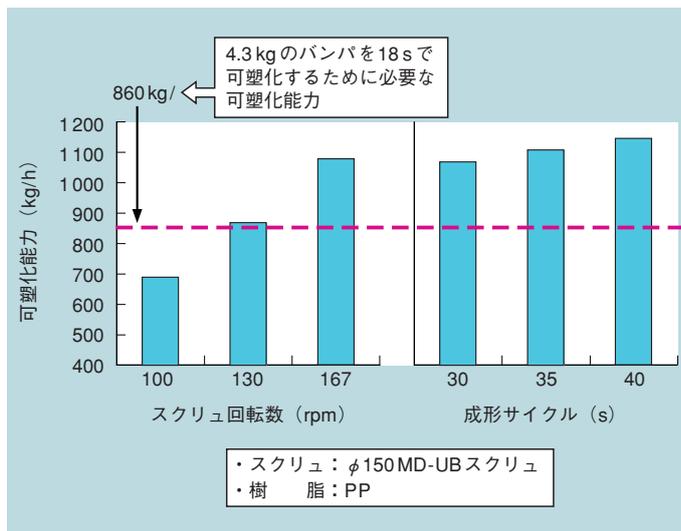


図 12 バンパー成形時の可塑化能力

5. 高速可塑化とハイサイクル

バンパー成形において、これまでは当社油圧機 3000 MMⅢ が最速約 45 秒サイクルであったが、更に高速化して 30 秒サイクルを実現する為には、30 秒サイクルに対応した可塑化能力 860 kg/h (バンパー重量: 4.3 kg) が必要であり、スクリュ回転 167 rpm の高速回転で樹脂温度バラツキを低減する事が重要である。特に未溶融樹脂の混入防止による混練性向上と樹脂温度の均一化はバンパーの品質確保に不可欠である。

当社のダブルフライトタイプの UB スクリュは、図 11 に示すように、固溶分離ロングバリアにより未溶融樹脂を分離し、均一可塑化品質を確保している。さらに、この UB スクリュ先端にマルチダムミキシングである MD メルタを装着し、ハイサイクル成形時の混練性能向上を図った。多角形断面形状のマルチダム MD の最適な剪断、分割作用により極めてハイレベルな均一溶融を与えている。本スクリュのバンパー成形時に計測した可塑化能力を図 12 に示す。30 秒のハイサイクル成形時にも目標の可塑化能力を十分クリアする。また、同じハイサイクル成形時に計測した樹脂温度のバラツキが低減されることにより、溶融樹脂の可塑化品質は格段に向上し、この MD メルタ付 UB スクリュの採用により高速バンパー成形を実現できた。

6. ま と め

大型射出成形品の品質向上と成形サイクルの短縮化のニーズにこたえるべく、バリレス・ハイサイクルの省エネ省スペース超大型電動射出成形機 3000 em を開発し市場投入した。自動車用大型成形部品のみならず、大型家電製品などプラスチック射出成形ユーザーにランニングコストを抑えた生産性の高い機械を提供できた。今後も機械の性能向上だけでなく、成形品の品質向上の観点からも製品開発を行い、お客様のニーズに応えていきたい。



松尾 識



姫野 太充



別所 正博



筒井 健司



加藤 直紀



水野 貴司