特集：生産技術領域の進化

15

「魂動」デザインの再現に向けたこだわりのモノづくり ～プレス金型製作編～

Discerning Manufacturing for Reproduction of “KODO” Design - Die Manufacturing -

西本　光毅[*1]　長澄　徹侍[*2]　佐々木　忠義[*3]
Mitsuki Nishimoto　Tetsuji Nagazumi　Tadayoshi Sasaki
安楽　健次[*4]　大塚　宏明[*5]
Kenji Anraku　Hiroaki Ohtsuka

要　約

「クルマに命を与える。それがマツダのデザイン。」この言葉が表すことをお客様に感じていただくためには，単純に形を似せて造るということではなく，デザインに込められたデザイナー／モデラーのこだわりや想いまでも忠実に再現させることと考える。この「魂動」デザイン再現に向けて，マツダの金型製作部門では緻密な意匠面を高精度に加工する技術開発や磨き技能の向上，更にはデザイナーの想い／志を共有する取り組みを共創活動として進めてきた。本稿では，それら「魂動」デザイン再現のための金型製作部門における取り組みについて紹介する。

Summary

“BREATHING LIFE INTO THE CAR. THAT’S MAZDA’S DESIGN PHILOSOPHY.”

To convey the true meaning of this message to our customers, it is important to reproduce the obsession and aspiration of designers and clay modelers rather than simply sculpting a physical form. Aiming at giving shape to Mazda’s “KODO Design” language, the Tool & Die Production Dept. worked, as part of its co-creation activities, on development of a technology for high-precision milling process, improvement in handwork skills, and sharing of the designers’ vision and aspiration. This article introduces the tooling performance developed with the aim of embodying the “KODO Design” concept.

1. はじめに

マツダは，いつまでもお客様に愛され続けるOne&Onlyのメーカーでありたいという思いから，ブランド構築を重視した「ブランド価値経営」を全社で展開している。その活動理念の根本にあるのは，「走る歓び」を通して，お客様の五感を刺激し，情感を豊かにするための商品／サービスを提供し続けるということと考えている。そして，これを実現する上で重要な「お客様への提供価値」の1つとして「魂動」デザインがある。鉄の塊であるクルマに命を与えたい，生命感を感じるデザインにしたいという志をベースにデザイナーとモデラーが妥協することなくこだわり抜いて作りあげる，いわばアートというべきものである。

この「魂動」の志までもしっかりとパネルへ受け継がせるため，プレス金型製作領域で取り組んでいる新たな金型造りについて紹介する。

2. デザインの想いを知る

従来は，開発部門からリリースされたデザインのCADデータが全てで，そこに込められたデザイナー／モデラーのこだわりを十分反映できていない金型製作を行っていた。これでは「魂動」の志をお客様にしっかりお伝えすることはできない。

[*]1～5　ツーリング製作部
Tool & Die Production Dept.

そこで，生産準備が始まる前段階で生産技術向けのデザイン説明会を開催し，デザインに込められた思い／こだわりを現場作業者一人一人にまで浸透させた(Fig. 1)。

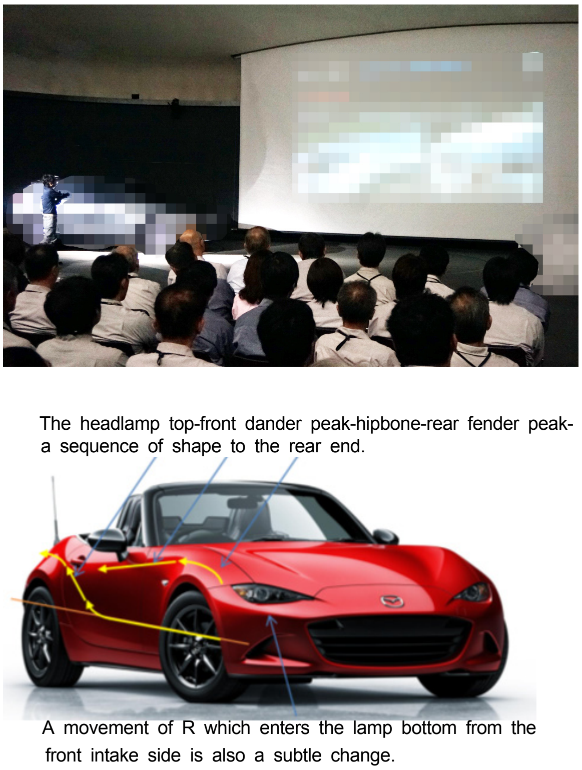


Fig. 1　Design Briefing Session

このデザイン説明会に参加することにより，デザインに込められたデザイナーの想いを聞き，金型造りを変えていかなければという強い思いを抱くと同時に，現在の製作方法で「魂動」デザイン再現がどこまで可能なのかという焦りも感じた。

3. デザイン再現に向けた課題抽出

「魂動」デザイン再現のため，デザイナーの思いを理解することはできたが，最終的に金型で造り込むのに必要なコア技術／技能が分からずにいた。

議論を重ねる中で，「魂動」デザインのシンボルオブジェである「ご神体」を製作することでデザイン再現のための技術/技能の課題を見いだそうと考えた。

デザイン部門が保有する「ご神体」オブジェを非接触式3次元測定機で測定し，リバースエンジニアリング技術を使ってCADデータに変換。そこから鋳物及び切削用NCデータを作成し，現状の切削／磨き条件にて「ご神体」を完成させた(Fig. 2)。

これをデザイナーに見てもらうと，「魂動」デザインの本質である生命感が削がれているとの指摘を受けた。

加工面粗さのバラツキや加工エリア段差部の磨き調整作業により，張り出した形状部に対して形状が痩せており，更にはデザインを表現する上で重要なキャラクターRが部位によっては拡大していた。

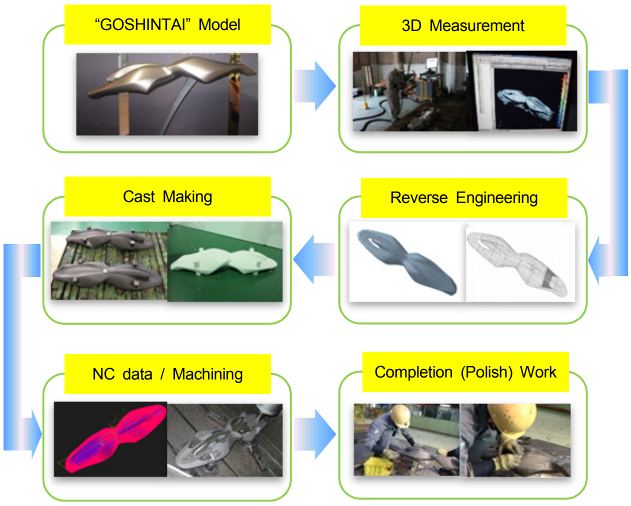


Fig. 2　"GOSHINTAI" Making

この問題を解決するには，緻密な意匠面を高品位／高精度に再現する加工技術と，これを形として崩すことなく磨く技術，デザインのこだわりを正しく評価する仕組みが重要である。(1)

4. 機械加工の課題解決

4.1　機械加工の問題点

プレス金型においてパネルを成型する自由曲面はボールエンドミルで機械加工を行っている。マツダでは長年，期間短縮に向けて，工具経路生成が簡単で並列作業が可能な，XY平面に直角な断面方向に加工する走査線加工を多用してきた(Fig. 3)。

しかしながら，走査線加工ではXY平面に対して角度をもつ3次元形状では，隣り合う断面方向の工具の移動軌跡の距離が加工部位のXY平面との角度の違いにより異なるため，ねらいの表面粗さを得ることが難しかった。

また，キャラクターラインを横切る箇所では，工具経路点列のトレランスの影響や機械制御の特性により薄いキャラクターライン表現が難しく，磨き調整作業によってキャラクターラインを通さなければならない問題を抱えていた。更に，コーナー部などの形状急変部を横切ることで切削量が変化し工具姿勢が変化することや，機械制御により送り速度の減速が多発(Fig. 4)することで，加工精度や表面粗さのバラツキが大きくなり，結果として磨き調整作業が多発していた。

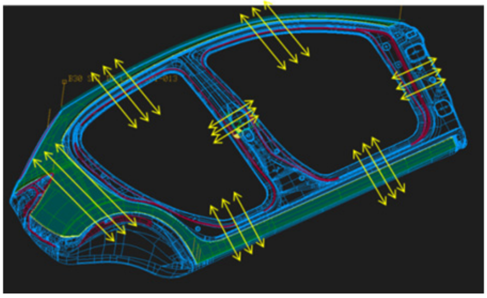


Fig. 3　Parallel Machining

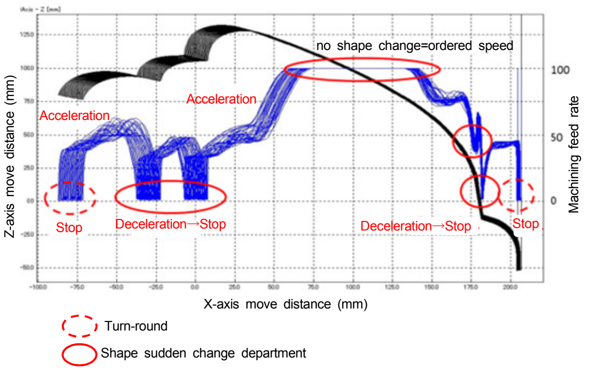
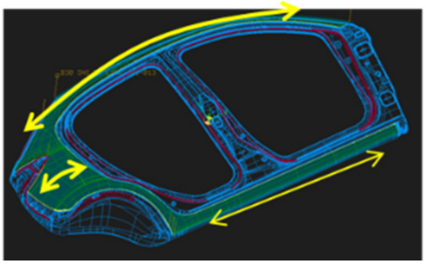


Fig. 4　Reduce Feed Rate at Shape Which Suddenly Changes

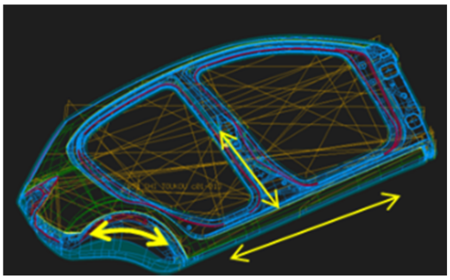
このように機械加工の問題事象を見ていくと，機械精度／工具精度よりも，削り方に起因する工具の状態変化の影響による加工精度劣化の方が多大であることが分かってきた。よって，「魂動」デザインを再現できる金型加工の高精度化と送り速度アップによる効率を両立するために，形状再現性の高い切削方法で，かつ，形状凹凸の影響を受けず工具姿勢が安定し，切削中の送り速度の減速が少ない工具経路の実現が必要と考えた。

4.2　機械加工精度の向上

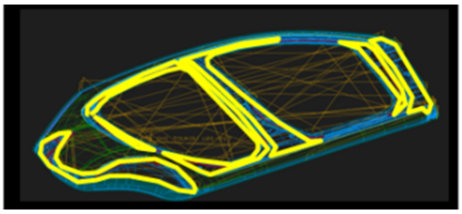
形状加工では，まず再現性を高める切削方法として，形状特徴に応じた切削方法に変更した。意匠面は面沿い長手加工，意匠面以外は形状特徴に合わせて等高線加工と形状周回加工を採用した(Fig. 5)。切削用NCデータは市販のCAMを使用して作成した。



Design Shapes: Machining Along Shape



Rapid Angle Shape: Z-Constant Machining



Slow Angle Shape: Concentric Machining

Fig. 5　High-Precision Machining in Accord with Shape Characteristic

この切削方法によって，切削用NCデータを作成する作業者が面の流れを意識した切削方向を設定でき，均一な質感の加工面を作りだし，消えてゆくキャラクターラインも正しく表現できるようになった。また，切削途中で凹凸を横切る回数が激減でき，工具姿勢の安定化と送り速度の減速の少ない加工につながった。更に，切削方法に合わせて1つ1つ切削条件の調整を行い，平均値のズレやバラツキを揃え，形状全体の加工精度向上を図った。

結果，加工面粗さについてはRz=5μmまで改善することができた。旧式のNC加工機でも，機械加工後の寸法精度／面粗さの劇的な改善となり(Fig. 6)，寸法精度のバラツキである3σは従来と比べ44%向上できた(Fig. 7)。[2]

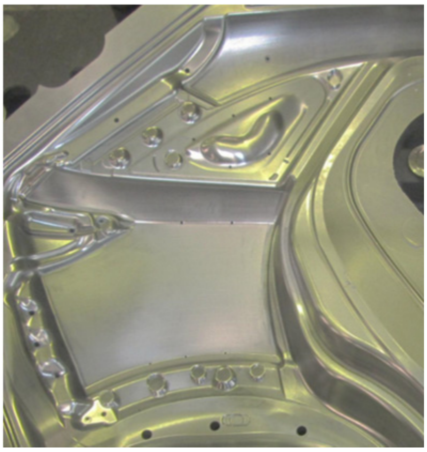


Fig. 6　Machined Shape

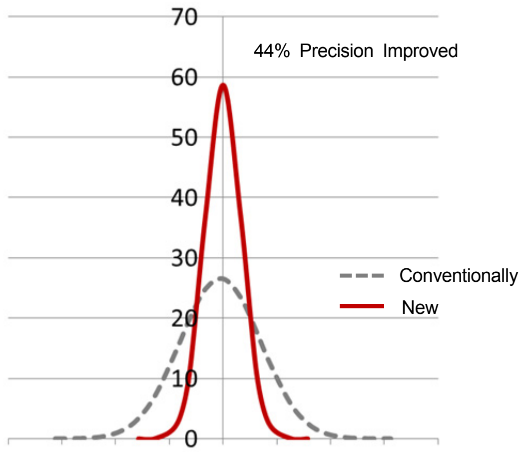


Fig. 7　Transition of Machining Precision

今回，ボディーサイドアウターでは加工の高精度化に伴い切削距離が20%増加したにもかかわらず，加工機の送り速度の減速が削減できたことで18%の加工時間短縮が可能となり，高精度化と効率化の両立が可能となった(Fig. 8)。

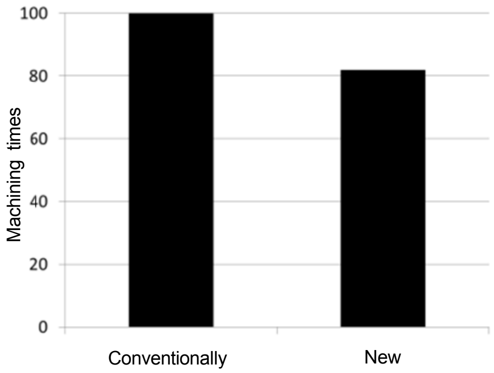


Fig. 8　Transition of Machining Times

5. 磨き作業の課題解決

5.1 磨き作業の問題点

マザーツールとなる金型の磨きにおいては，デザイン面を崩さず機械加工後の切削痕（カスプ）のみを研削する作業(Fig. 9)と，デザイナーの想いを金型に吹き込みながら面を滑らかにするスムージング作業がある。

従来の金型磨きにおいては，キャラクターラインを基準とし，これを通しながら全面のスムージング作業をする工程が，デザインRサイズを確保しやすく効率的であった。しかし，「ご神体」の製作からキャラクターラインの調整に注力するあまり，面形状を削り過ぎ，生命感が削がれている問題が発覚した。

「魂動」デザインでは連続した陰影形状が重要で，それにより生命感を表している。そのため，キャラクターラインと合わせて，面の連続性も重要になる。そこで，今まで以上にデザイン意図を理解し，全ての部位で高品位／高精度に実現していくことが必要であると考えた。

5.2　磨き作業の精度向上

「ご神体」の製作を通して分かった課題から，「磨き工程の見直し」「磨きツールの開発」「若手の磨きスキルの向上」に取り掛かった。

「磨き工程の見直し」については，モデラーが「ご神体」を製作していく工程を金型のスムージング作業に応用できないか，金型磨きの匠とモデラーが一緒になって協議した。結果，「魂動」デザインの陰影形状を実現するために，造り込んだ面と面の延長でキャラクターラインをシャープにしていくスムージング作業工程（魂動磨き）にいきついた。この工程により，キャラクターラインと合わせて，面の連続性を重視した磨き工程に変革した（Fig. 10）。

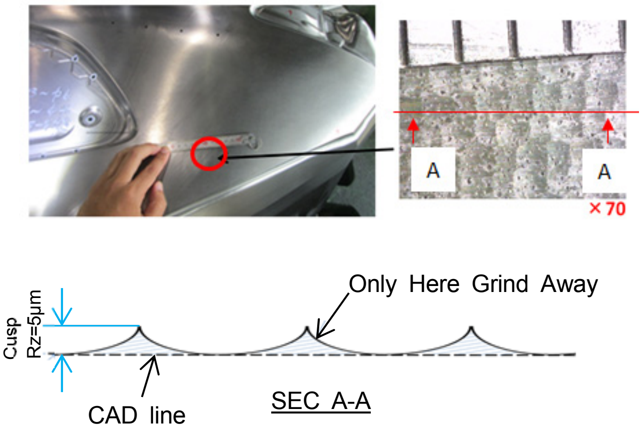


Fig. 9　Cusp & Section Image

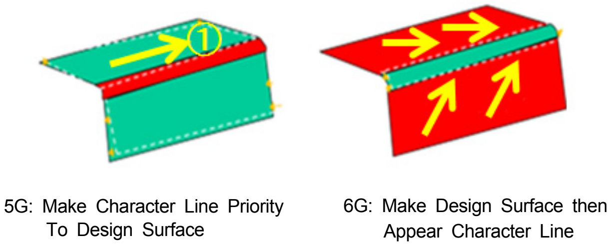


Fig. 10　Grinding for Soul of Motion (KODO)

「磨きツールの開発」については，カスプの研削に砥石を使用し，面に深いキズ（約12μm以上）が斑に入ることがあった。材料の流入抵抗をなくすため，深いキズを研削する作業が発生し，部分的に必要以上の磨きを行っていた。結果，面形状を削り過ぎ，デザイン面を傷めていた。

そこでカスプを研削した際に深いキズが入らないようにするため，砥石の切削メカニズムに立ちかえった。

砥石の構成には3要素「砥粒」「結合剤」「気孔」があり，それぞれのパラメータの組み合わせにより砥石の性能が決まる。市販品から20種を準備し，深いキズが入らず，磨き効率が落ちない砥石を3要素の切り口から検証したが，ねらいどおりに磨けるものがなく，マツダ独自の砥石開発へ移行した(Fig. 11)。

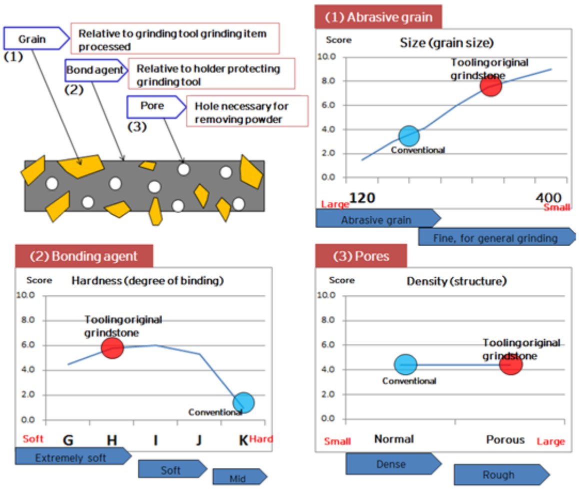


Fig. 11　Three-Element Control

市販品の砥石の主な考え方は　“よい砥石＝よく削れる”だが，マツダのねらいは，「デザイン面は傷つけず，カスプを効率的に落とせる」という品質・効率を両立させるものになる。そこでマツダのデザイン重視の考えに共感いただけるメーカー様と一緒に，「良い砥石＝デザインを守る」という考えの下，共創活動を行った。

形状を守るために「研削負荷が高くなる（カスプが研削されてデザイン面に達する）と先に砥粒が脱落すること」をねらい，3要素のパラメータを変更した試作品を数種類製作した。検証を繰り返した結果，ねらいの磨き性能を発揮する砥石の開発に成功した。この砥石でスムージング作業を行うことにより，デザインのねらいどおりに光の映り込みも再現することが可能となった（Fig. 12)。

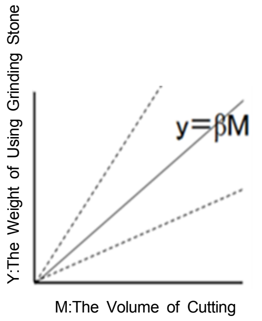
“KODO” Light’s Reflection

Fig. 12　Results of Grinding for ”KODO”

最後に「若手の磨きスキルの向上」については，新たに開発した砥石を用いても磨きの匠と若手作業者では，研削量のバラツキに差が出ていた。そこで品質工学を用い，若手作業者でもバラツキを抑えた研削が可能になる作業方法の確立に踏み出した。

まず，磨き作業のあるべき姿を探るため，機能系統図を用い磨き作業を機能分解した。あるべき姿を「最小の砥石使用重量で，加工後のカスプのみを全て除去する状態」とし，これから基本機能を(Fig. 13)のように設定した。

制御因子は，匠と若手作業者の磨き動作の違いに着目し8因子を選定。誤差因子は次世代デザインのネガ・ポジ形状とした。実験方法は，作業前後の砥石重量を測定し，基本機能で評価した。



	Control Factor	revel1 (good)	revel2	revel3 (bad)
A	Direction	parallel	vertical	-
B	Sharp (before grinding)	SharpeA	SharpeB	Sharpe C
C	Force	small	middle	large
D	Velocity	late	middle	fast
E	Work posture	stepladder	standing	down
F	Dressing	many	less	none
G	Judgment	method A	method B	method C
H	Light	bright	normal	dark

Error Factor	N1	N2
design surface	凸	凹

Selecting the Basic Function　　　Control Factor, Error Factor

Fig. 13　Selection of Basic Function & Control Factor, Error Factor

結果，磨きバラツキを抑える制御因子4つが分かり，この4つを作業手順に落とし込むことにより若手作業者の磨きバラツキを1/8へ抑え，匠と同様な磨き作業の実現と磨き技能の技術化に成功した。

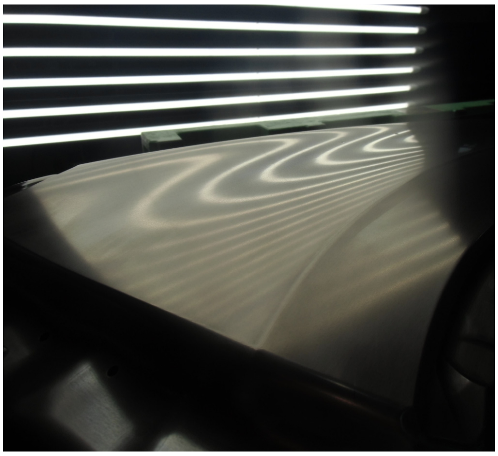
これらの対策「磨き工程の見直し」「磨きツールの開発」「若手の磨きスキルの向上」を通して「魂動」デザインを忠実に実現する技術が確立でき，今まで以上に高品位／高精度な金型が製作可能となった。[(3)]

6. デザイン面評価方法の変更

金型製作をこれまでのキャラクターライン重視の製作方法から，面（デザイン面）重視の製作方法に変更するとともに，自部門でのデザイン面評価方法も変更した。これまでの官能評価から，デザイナー／モデラーと同じようにリフレクションで評価することで，デザイン面の再現性を判断することにした。これにより，自分たちが仕上げたデザイン面の素性を確認できるようになり，アウトプットの評価も可能になった。また，リフレクショ

ン評価用ゼブラ投光器も自作した。

このリフレクションの評価を，金型磨き後，パネル取得後等，イベントごとにゼブラ投光器を使用して，デザインのCADデータのリフレクションと金型（パネル）のリフレクションを見比べ，確実にデザイン面どおりのリフレクションを再現できているかを確認しながら金型製作を行っている(Fig. 14)。



Die Reflection Evaluation

Panel Reflection Evaluation

Fig. 14　Reflection Evaluation with Floodlight

7. おわりに

これからも進化し続ける「魂動」デザイン再現のため，デザイン部門との共創活動を更に強固なものとし，デザイナー／モデラーのこだわりや想いを，忠実に再現していきたい。そのため，現状に満足せず更に高いレベルを目指し技術／技能の向上を図り，皆様へ想いの込もったクルマをお届けしていく。

参考文献

(1) 佐々木ほか：「魂動デザイン」再現に向けたこだわりのモノづくり，型技術協会講演論文集，B-5，pp.56-57（2015）

(2) 西本ほか：「魂動デザイン」を再現するプレス金型機械加工精度向上，型技術協会講演論文集，No.101，pp.60-61（2015）

(3) 長澄ほか：「魂動デザイン」を再現する金型磨き技能の技術化，型技術協会講演論文集，No.207，pp.142-143（2016）

■著　者■

西本 光毅

長澄 徹侍

佐々木 忠義

安楽 健次

大塚 宏明