

ADAS/AD に向けた革新的な車載カメラシステム「Tele & Wide 同一光軸カメラ」の開発

金岡浩史, 倉茂孝道, 高梨祐介, 目黒明彦, 築山大亮, 和湯瑞葵

Innovative In-vehicle Camera System for ADAS/AD: Single-Lens System Integrating Telephoto and Wide-Angle Functions

Hiroshi KANAOKA, Takamichi KURASHIGE, Yusuke TAKANASHI, Akihiko MEGURO, Daisuke TSUKIYAMA and Mizuki WAYU

自動車業界における先進運転支援システムや自動運転技術は日々進化している。また、ドライバーが標識や歩行者等を視認できないことで発生する重大事故を防止するため、視認性を向上させる手段へのニーズが高まっている。

ニコンと三菱ふそうトラック・バス株式会社は、未来のトラックやバスに新たな価値を創出することを目指し、2020年から共創活動を行ってきた。その成果として、望遠レンズと広角レンズを一体化し、遠方と周辺を確認することが可能となる革新的なカメラシステムを確立した。

この革新的なカメラは望遠レンズと広角レンズの一体化を実現し、遠方と周辺を同時に撮影することが可能である。遠方と周辺の光軸が同一のために視差が生じないことから車両周辺の情報を画像認識する際に、遠方で認識した標識や他車をトラッキングしても、対象を見失ったり二重に認識したりする問題を減らすことができる。また、効果的に車両に配置することによりカメラ台数を抑えながら全周囲360°を途切れなく見ることができ、従来の課題であったシステムコストや故障率などの低減が期待できる。

In the automotive industry, advanced driver-assistance systems (ADAS) and autonomous driving technology (AD) are evolving every day. Moreover, a growing demand exists for methods that enhance visibility to prevent serious driver-accidents related to unnoticed signs/pedestrians. Nikon and Mitsubishi Fuso have developed an innovative in-vehicle camera system to create new safety value for future trucks and buses.

The initiative resulted in the development of an innovative camera featuring a single-lens system integrating telephoto and wide-angle functions to facilitate both long-distance and peripheral visibility.

The optical axes of the far-away and periphery shots are the same, which prevents parallax. Therefore, the camera system reduces the risk of losing track of an object or detecting a double image when used as an in-vehicle camera with AI image recognition to collect road information with tracking signs or other vehicles in the distance.

Using this system requires fewer cameras to be installed in the vehicle owing to its effective positioning and integrated telephoto and wide-angle lens system. This innovation facilitates uninterrupted 360-degree coverage and addresses common challenges such as high system costs and failure rates.

Key words 車載カメラ, 先進運転支援システム, 自動運転, 望遠, 広角, 同一光軸
in-vehicle camera, advanced driver-assistance systems, autonomous driving, telephoto, wide-angle, coaxial

1 はじめに

自動車業界における先進運転支援システムや自動運転技術は日々進化している。また、ドライバーが標識や歩行者等を視認できないことで発生する重大事故を防止するため、視認性を向上させる手段へのニーズが高まっている。

ニコンと三菱ふそうトラック・バス株式会社は、未来のトラックやバスに新たな価値を創出することを目指し、2020年から共創活動を行ってきた。その成果として、望遠レンズと広角レンズを一体化し、遠方と周辺を確認することが可能となる革新的なカメラを活用したシステムを確立した (Fig. 1)。



Fig. 1 望遠レンズと広角レンズを一体化した Tele & Wide 同一光軸カメラ

この革新的なカメラは望遠レンズと広角レンズの一体化を実現し、遠方と周辺を同時に撮影することが可能である。遠方と周辺の光軸が同一のために視差が生じないことから車両周辺の情報を画像認識する際に、遠方で認識した標識や他車をトラッキングしても、対象を見失ったり二重に認識したりする問題を減らすことができる (Fig. 2)。また、効果的に車両に配置することによりカメラ台数を抑えながら全周囲360°を途切れなく見ることができ、従来の課題であったシステムコストや故障率などの低減が期待できる。

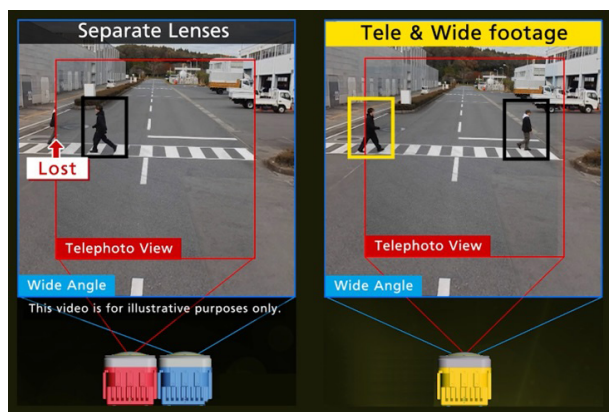


Fig. 2 望遠と広角を分けた場合 (左図) と同一光軸の場合 (右図) の比較
(同一光軸は視差の影響が無い)

2 Tele & Wide 同一光軸カメラ

広角レンズは画角190°、望遠レンズは画角20°の仕様としている。それぞれのレンズの光線は、物体側から入射して共通のレンズ群を通過した後、ビームスプリッターにより光路が分岐する構成となっている。ビームスプリッターの反射光と透過光は、その後のレンズ群を通過した後に撮像面で結像する (Fig. 3)。この構成により広角と望遠に対して視差のない画像を取得できる仕組みとなっている。また、筐体の小型化やレンズの製造性等を考慮し、反射側を広角

レンズ、透過側を望遠レンズとした。



Fig. 3 Tele & Wide 同一光軸カメラの構成

車載用途としての使用を考慮し、以降の6つのポイントに配慮しながら光学設計を進めた。

1) 魚眼レンズの射影特性

前述の通り、本カメラの広角レンズは190°の画角を持つ魚眼レンズである。魚眼レンズは設計によって射影特性を変えることが可能であり、画面中心部を拡大して周辺部を圧縮する特性や、その逆の特性を持たせることもできる。本カメラは望遠レンズで画面中心部を拡大できる構成であるため、広角レンズでは中心部よりも周辺部が高解像であることが望ましい。そのような考えの元、広角レンズは画面周辺部の解像度が向上するような射影特性を考慮した。

2) 解像性能

画面全域で物体検知を行えるように、中心部だけではなく、周辺部まで高解像となるような光学設計を行っている。特に広角レンズと望遠レンズ両方の性能を満たす必要があるため、ビームスプリッター前の共通レンズ群は、広角と望遠のバランスを考慮した最適なレンズのパワーを持つように設計検討を行った。また、メンテナンス性を考慮して前面のレンズを交換できるように、レンズの取り付け誤差による解像劣化の影響を抑えた設計を実施している。

3) 最適なセンサー配置

本カメラは車外への設置を想定しており、レンズ前面にゴミや汚れ、水滴等が付着しやすい。至近側の物体にピントが合うようにセンサーを配置すると、付着物が目立ってしまうが、逆に遠方側でピントが合うようにセンサーを配置すると、至近側での物体検知の精度が低下してしまう。

このような事象を踏まえて、ユースケースに沿った最適な位置となるようにセンサーを配置している。

4) 温度変化に対するロバスト性

外部環境が高温または低温環境にあるとき、ピントブレが発生し、画質劣化が生じることがある。本カメラは光学部品、メカ部品の温度に対する変形量を考慮しながら部品の材質や形状を検討し、高温、低温の外部環境に対して画質劣化の影響を抑えるようなロバスト設計を行っている。

5) ゴースト・フレア

物体検知を行う上で有害となるゴースト・フレアの発生も極力抑えるように配慮した。特に魚眼レンズは画角が広く、様々な光源からの強い光が入射してしまうため、光線追跡によるシミュレーションを実施しながら、光学部品やメカ部品の最適な形状の検討、配置設計を行っている。

6) 望遠レンズのカスタマイズ対応

広角側は周辺物体を検知するために180°以上の画角が必要となるが、望遠側はユースケースに伴い、様々な画角が求められる。その対応として、本カメラでは広角側の構成をそのままに、望遠側のビームスプリッターよりセンサー側のレンズを丸ごと交換することで、カスタマイズが可能な構成としている。これにより低コストで望遠側の画角を変更できるようになっており、実際に複数タイプの望遠レンズで開発と評価を実施している。

以上の6つのポイントを踏まえて、車載カメラに適した光学設計を実現している。

車両にカメラを搭載して撮影した際にどのような写りとなるか、画像を見ないことには想像し難い。実際にカメラを搭載した場合の実写シミュレーションを設計初期の段階から行うことで、ユースケースに見合った最適なカメラ仕様を検討している。また、実写シミュレーションにより試作を行うことなく、様々な検証を進めることも可能となる (Fig. 4)。

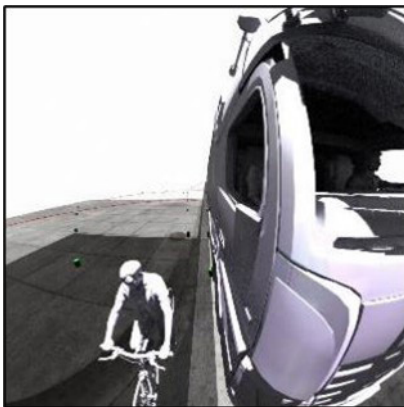


Fig. 4 実写シミュレーションによる画像

実際に開発したカメラを使用し、遠方 150 m 先に設置した STOP 標識を被写体として、広角レンズおよび望遠レンズで撮影を行い、画像の比較検証を実施した。広角レンズ

で撮影した画像の標識部分をデジタルズームで拡大すると、STOP の文字が不鮮明で読み取れない状態であったが、望遠レンズの撮影画像では STOP の文字が鮮明であり、はっきりと認識できることが確認できた (Fig. 5)。

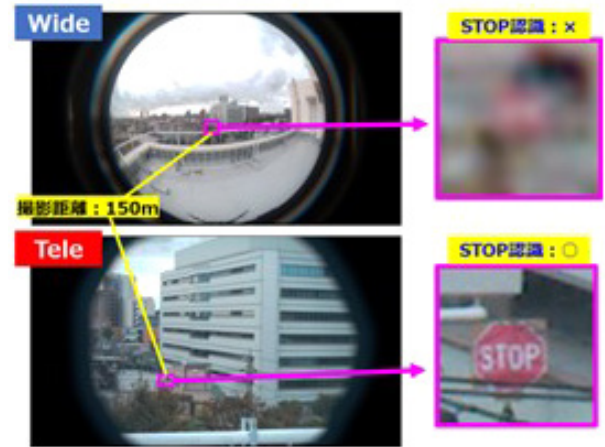


Fig. 5 Tele & Wide 同一光軸カメラの実写画像

3 Tele & Wide 画像の合成処理

広角レンズと望遠レンズを一体化したカメラのための画像処理技術を開発した。この技術は、広角画像の広い視野と望遠画像の遠方の詳細な情報を組み合わせることで、運転者に対して視認性の高い映像を提供することを目的としている。広角画像の歪み補正、望遠画像の合成、運転者が FOV (視野角)、Roll (水平回転)、Pitch (上下方向)、Yaw (左右方向) の値を調整できるデジタルミラー表示を実現した (Fig. 6, Fig. 7)。

広角レンズは広い視野角を持つ一方で、画像に特有の歪みが生じる。この歪みを正確に補正するために、Scaramuzza のモデル [1]–[3] を用いて魚眼を含む広角レンズの特性を数学的にモデル化した。このモデルは、広角レンズの投影や画像内の歪みを多項式として表現している。このモデルでチェッカーボードを撮影して得られた特徴点を基にパラメーターを計算 (キャリブレーション) する。得られたパラメーターを用いて広角画像の歪み補正を行うことで直線性が回復した広角画像により、運転者が視覚的に自然な情報を把握できるようになった。

広角画像だけでは遠方の詳細な情報を確認することが難しいため、望遠画像を広角画像に対して合成処理を行った。基本的には、広角レンズと望遠レンズが同一光軸上に配置され、視差が発生しないため両画像の位置合わせは容易である。しかし、製造時における誤差の影響を吸収するために個体ごとに最適な射影変換を用いて正確な位置合わせを行う必要がある。これにより安定して広角画像の広い視野と望遠画像の詳細情報を統合することが可能となった。

デジタルミラー表示では、運転者の設定に応じて FOV, Roll, Pitch, Yaw のパラメーターから射影変換行列を算出

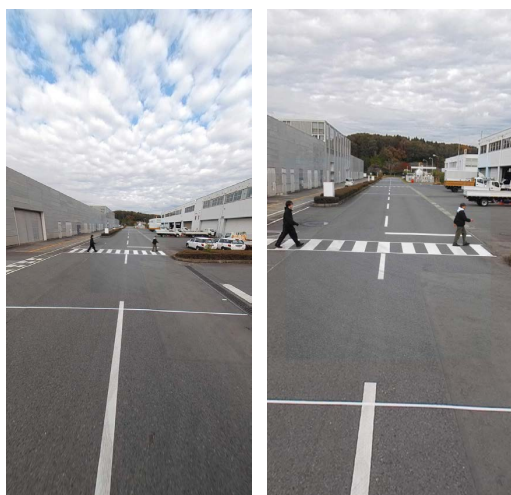


Fig. 6 デジタルミラーの操作例
(左図は FOV が90°, 右図は FOV が40° のとき)

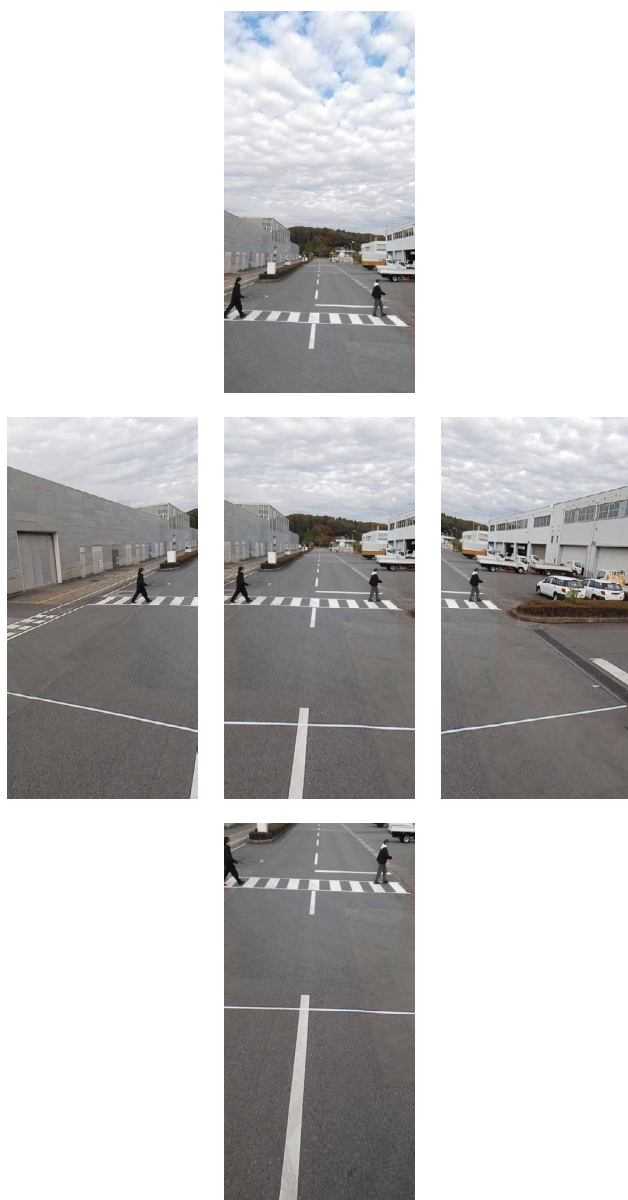


Fig. 7 デジタルミラーの Pitch 及び Yaw の操作例
(図中央は Pitch 及び Yaw は0°, 上下左右はそれぞれの方向に Pitch または Yaw を25° 変化させた場合)

することで、歪み補正済みの広角画像と望遠画像の合成画像をリアルタイムで任意の視点に変換できる。FOV を広く設定した場合は広角画像の広い視野が、狭く設定した場合は望遠画像の詳細な情報が表示され、状況に応じた最適な情報を取得できる。

広角画像と望遠画像の合成においては前述の位置合わせの他に、両画像の露光タイミングが一致していること、および明るさと色味が一致していることが求められる。両画像でこれらが大きく異なると、正確に位置合わせしたにも関わらず広角画像と望遠画像の境界に不自然な段差が現れてしまう。この問題を解決するために本カメラシステムでは、広角側、望遠側のイメージセンサーと画像処理を協調動作させる仕組みを導入した。まず2つのセンサー間で Vsync (Vertical Synchronous) 信号を同期し、露光タイミングを一致させ時間的なずれを解消する。次にそれぞれのセンサーの露光データから輝度情報、色情報を算出し、画像処理を協調させた後、再び2つのセンサーを制御することで広角画像と望遠画像の明るさと色味を合わせる。Fig. 8 は協調動作 ON/OFF での広角画像と望遠画像の合成結果である(破線より内側が望遠画像)。本カメラシステムに導入したイメージセンサーと画像処理の協調動作が時間ずれ、および境界段差の解消に有効であることが確認できた。

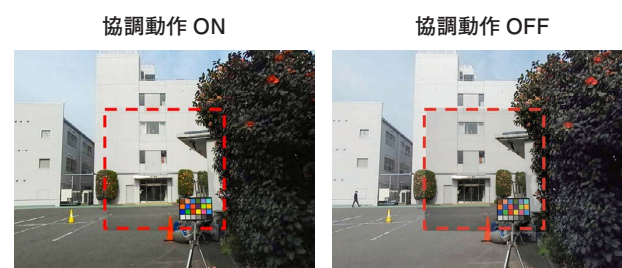


Fig. 8 広角画像と望遠画像の合成
(協調動作 ON/OFF, 破線より内側が望遠画像)

4 近赤外対応

昼夜で撮影を行えるように、可視光と近赤外光のみを透過するフィルター(マルチバンドパスフィルター)を使用している。一般的に可視光と近赤外光では焦点の位置が異なるため、可視光にピントが合うようにセンサーを配置すると、近赤外光ではピントがずれる。結果、日中撮影では画質が良好だとしても、夜間撮影では画質が悪くなってしまう。この影響を抑えるべく、軸上色収差の補正により焦点位置の変化を小さくした光学設計を行い、昼夜撮影での画質差を抑えるようにしている。

車載カメラでの近赤外撮影の利点は、夜間において車両や構造物の影になるような光が届かない場所でも、追加の可視照明なしに明るい画像が取得でき、車両周辺の画像認識率を高め、安全性を向上できることにある。また、可視照明は人間にとっては眩しく見え、歩行者や周辺車両の運

転手などに照明の不快感や視認性への悪影響を与えることがあるが、近赤外照明は他者の視界に悪影響を与えず、相手方の安全性も向上することができる。加えて、本カメラシステムではマルチバンドパスフィルターを使用して近赤外撮影を実現しているため、明所・暗所に応じて可視光・近赤外光用の光学フィルター切り替えが不要で、フィルター駆動機構、フィルター退避スペースが不要となるため、カメラの小型化、低コスト化に寄与できる。Fig. 9は暗黒環境で、近赤外照明を使用した時の本カメラシステムと従来カメラの撮影結果を示している。

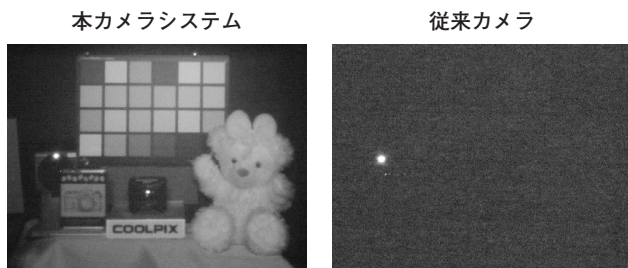


Fig. 9 暗所での画像比較（環境照度：約 0.05 lux）
（近赤外照明 使用時）

一方、本カメラシステムは従来カメラ（可視光用）よりも近赤外成分を多く含む光を撮像するため、従来の画像処理のままでは人間にとっては見栄えが悪く視認性が低下する。本カメラシステムの用途のひとつとして車載用のデジタルミラーが想定されており、人間が違和感なく視認できる画像が求められる。この課題に対応するため、マルチバンドパスフィルターの最適化、および画像処理の最適化を行い、Fig. 10に示すような従来カメラと遜色のない画像の見栄えを実現した。

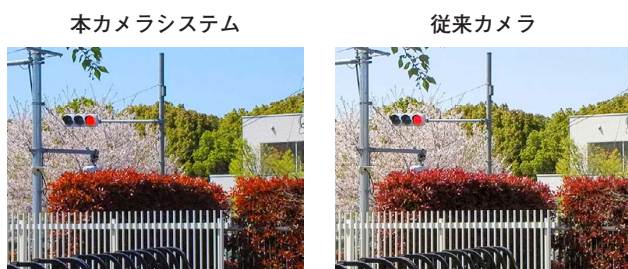


Fig. 10 日中の画像比較

5 その他

本機のボディは堅牢かつ軽量なアルミ合金を採用し、耐候性に優れた表面処理と各部の防塵、防水処理を施した密閉設計となっている。

形状は様々な設置形態を試行できるように上下左右にマウント用の座面を設け、堅牢性を重視した設計となっているが、広角側が視野角190°の超広視野角であることから、カメラ自身が視野内に映り込んでしまうことを避けるため、ボディの小型化が必達課題であった。

ここで、一般的なカメラ開発のプロセスでは開発期間の長いレンズユニットの設計が先行し、それに合わせてボディを設計するケースが多いが、その場合はボディ形状に制約が生じやすい。特に本機は2つの撮像センサーが直交する特殊な形状のレンズユニットと、それぞれのセンサーのインターフェース基板を内包する必要があるため、より効率的なボディ設計が要求された。

そこで本機はレンズユニットとボディを同時に設計し、設計情報を相互にフィードバックすることで互いの形状を最適化したほか、小型化の要求が高い民生用カメラ開発で培った高密度設計のノウハウを要所で活用することで、超広視野角を阻害しないボディ設計を実現した（Fig. 11）。

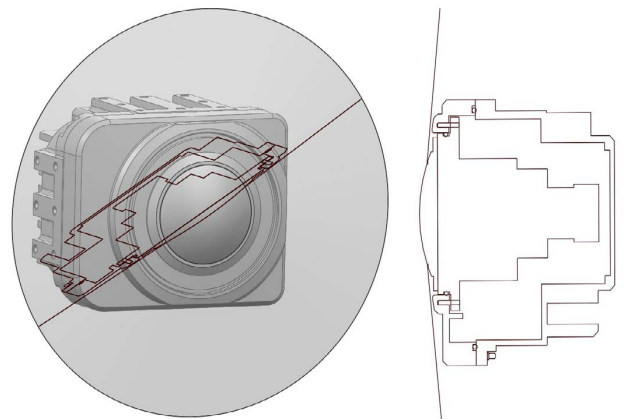


Fig. 11 Tele & Wide 同一光軸カメラのボディ設計

また前述の通り、傷や汚れによる視認性低下を考慮したピント位置調整を行ってはいるものの、程度によって前面レンズの修理が必要になる。修理方法として、カメラそのものの新品への交換や分解修理により対象部品のみ交換する場合が多いが、その場合コストアップや修理のためのリードタイム、工数が増大する。

そこで本機では、前面レンズのみをユニット化し、ボディを分解しなくてもユーザ自身が交換できるようにすることで修理にかかるコストダウン・リードタイム短縮を計った（Fig. 12）。交換ユニット自体も防水性を確保しており、交換後の描画性能も損なわない設計となっている。

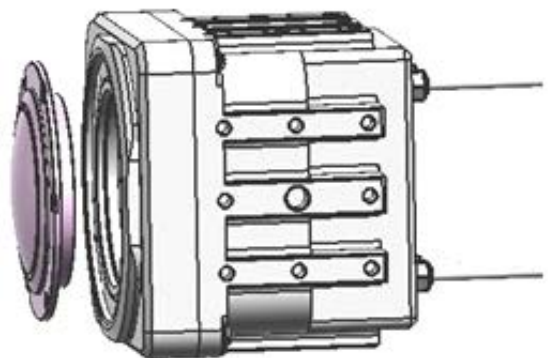


Fig. 12 前面レンズ交換イメージ

6 まとめ

ニコンの技術でこれからの自動車業界における先進運転支援システムや自動運転に貢献していくことで、交通事故の減少や安全性の向上、交通渋滞の解消による時間と燃料の節約と CO₂ 排出量の削減、そして物流業界における配送効率の向上やドライバー不足の解消など、多岐にわたる社会貢献をしていきたい。

最後に、本製品の企画と開発に尽力頂いた多くの方にこの場を借りて深く感謝する。

引用文献

- [1] D. Scaramuzza, A. Martinelli, and R. Siegwart, "A Flexible Technique for Accurate Omnidirectional Camera Calibration and Structure from Motion," *IEEE International Conference on Computer Vision Systems (ICVS 2006)*, pp. 45-45, 2006.
- [2] D. Scaramuzza, A. Martinelli, and R. Siegwart, "A Toolbox for Easily Calibrating Omnidirectional Cameras", *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2006)*, pp. 5695-5701, 2006.
- [3] D. Scaramuzza, "Omnidirectional Vision: from Calibration to Robot Motion Estimation," *PhD thesis, ETH Zurich, Thesis no. 17635*, 2008.

金岡浩史 Hiroshi KANAOKA
映像ソリューション推進室
Imaging Solution Development Department

倉茂孝道 Takamichi KURASHIGE
光学本部 開発戦略部
Strategic Technology Development Department
Optical Engineering

高梨祐介 Yusuke TAKANASHI
株式会社ニコンシステム
Nikon systems Inc.

目黒明彦 Akihiko MEGURO
映像ソリューション推進室
Imaging Solution Development Department

築山大亮 Daisuke TSUKIYAMA
映像ソリューション推進室
Imaging Solution Development Department

和湯瑞葵 Mizuki WAYU
光学本部 シナジー推進部
Technical Synergy Promotion Department
Optical Engineering



金岡浩史
Hiroshi KANAOKA



倉茂孝道
Takamichi KURASHIGE



高梨祐介
Yusuke TAKANASHI



目黒明彦
Akihiko MEGURO



築山大亮
Daisuke TSUKIYAMA



和湯瑞葵
Mizuki WAYU