

アフターコロナの現場業務変革を けん引する高品質・低コストな 5G+映像 AI 解析システム

High Quality and Low Cost 5G+Image AI Analysis System to Drive Business
Innovation after COVID-19

山口伸康 石井大祐 久保田智規
山内宏真 久保田真 山本隆哉

Abstract

アフターコロナに向けて、オフィス業務ではテレワークなどの業務変革が進んでいる。しかし、工場の製造ラインなどの現場業務では変革が遅れており対応が急務となっている。このような中、高速・大容量の特性を持つ5Gのサービスが開始された。5Gにより、無線ネットワークと高精細カメラ映像を用いて、人が現場を見回ることなく現場状況の見える化が可能となる。更に、映像データをAIで解析することで、製造品質や現場業務を素早く検知・フィードバックする自動化・効率化が期待できる。本稿では、エッジとクラウド/センターのリソースを活用して高品質・低コストに映像解析を実現する技術を紹介する。

キーワード：映像解析, AI, 5G, エッジコンピュータ, クラウド

1. コロナ禍で加速する現場業務変革

新型コロナウイルスの影響を受け、元々ICTを用いていたオフィス業務においては、既に多くの企業でテレワークが導入され、業務フロー・情報共有・コミュニケーションのリモートワーク化が進んでいる⁽¹⁾。

一方、工場の製造ラインなどでは、現場に人がいて機械や製品を直接見ながら行う業務が多くリモートワーク化が進んでいない。近年の人手不足への対策として遠隔からの管理・監視・指示などで現場作業を支援するリモートワークの実現による業務変革が望まれながらも普及が遅れている。しかし、コロナ禍によって現場業務も

リモートワーク化が急務となっている。

現場業務のリモートワーク化には、高精細映像データの活用が有効である。例えば、工場内に多数の高精細カメラを配置し、現場の映像を収集して映像AI解析を行い作業手順ミス・危険作業の発生、密集状態などをリアルタイムに自動検出・一括モニタリングすることで、作業品質や作業環境の飛躍的な改善が期待できる(図1)。

本稿では、現場業務改革を加速する上で、注目される最新技術について解説する。まず、2.で5G(第5世代移動通信)の特徴を説明する。次に3.で5G及び映像AI解析システムの動向を説明する。そして、4.で映像AI解析システムの理想的な構成を提案し、5.で映像AI解析のエッジ・クラウド/センター連携システムを実現するための技術を紹介する。最後に、6.で今後の展望を述べる。

2. 5G の特徴

現在、次世代無線技術として、高速・大容量、低遅延、多端末接続の特徴を有する5Gが注目され、国内では2020年3月からサービスが開始された。5G関連のマーケットは、2025年には国内3兆円、グローバル77兆円の規模に成長すると予想されている⁽²⁾。特に、5Gの高速・大容量特性によって、高精細カメラの普及やカ

山口伸康 富士通株式会社 5G Vertical Service 室
E-mail nobuyasu@fujitsu.com
石井大祐 正員 富士通株式会社 5G Vertical Service 室
E-mail d.ishii@fujitsu.com
久保田智規 正員 富士通株式会社 5G Vertical Service 室
E-mail kubota.tomonori@fujitsu.com
山内宏真 富士通株式会社 5G Vertical Service 室
E-mail yamauchi.h@fujitsu.com
久保田真 正員 富士通株式会社 5G Vertical Service 室
E-mail kubota.makoto@fujitsu.com
山本隆哉 富士通株式会社 5G Vertical Service 室
E-mail t.yamamoto@fujitsu.com
Nobuyasu YAMAGUCHI, Hiromasa YAMAUCHI, Takaya YAMAMOTO,
Nonmembers, Daisuke ISHII, Tomonori KUBOTA, and Makoto KUBOTA,
Members (5G Vertical Service Office, Fujitsu Ltd., Kawasaki-shi, 211-8588
Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.104 No.7 pp.722-727 2021年7月
©電子情報通信学会 2021



図1 工場での高精細映像・映像 AI 解析の利用例 多数のカメラ映像を AI 解析して工場ラインの作業員のモニタリングを行う。

	エリア	参入事業者	サービスの種類
キャリア 5G	<p>広 日本全国をカバー</p>	<p>少 国で4社</p> <p>D社 A社 S社 R社</p>	<p>少 スマホなどユニバーサルサービスが中心</p>
ローカル 5G	<p>狭 建物・土地単位で割当</p>	<p>多 数百~数千社の参入が可能</p>	<p>多 企業・自治体などが自社用途に沿って占有して利用可</p> <p>工事現場 病院内 工場内</p>

図2 キャリア5Gに対するローカル5Gの利点⁽³⁾ ユーザが用途に合わせて専用で利用可能なため、高速安定伝送・高セキュリティを確保可能。

メラ設置台数の増加に伴って増大する映像データを無線でリアルタイムに伝送可能となるため、映像データを活用する映像ソリューションの普及への期待が高まっている。また、5Gには、大手キャリア各社が提供するサービスとは別に、「ローカル5G」というキャリアを利用せず自由に5Gネットワークを構築できる仕組みがある(図2)。

ローカル5Gは企業・自治体などが構築する専用ネッ

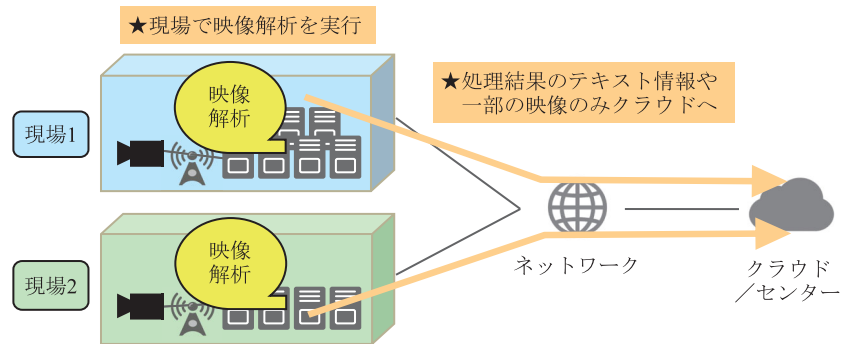
トワークとして、建物や土地単位で割り当てられ、通信帯域の占有及び上り/下り割当など独自に設定することができる⁽³⁾。これにより、カメラ・サーバ間のLANケーブル配線が不要となり、広大な敷地の工場に多数のカメラを自由な位置に設置し、高精細映像を無線経由でサーバに伝送することが可能となる。そして、無線電波のふくそうによるパフォーマンス低下や盗聴に対してもロバストな環境を構築することができる。

3. 5G 及び映像 AI 解析システムの動向

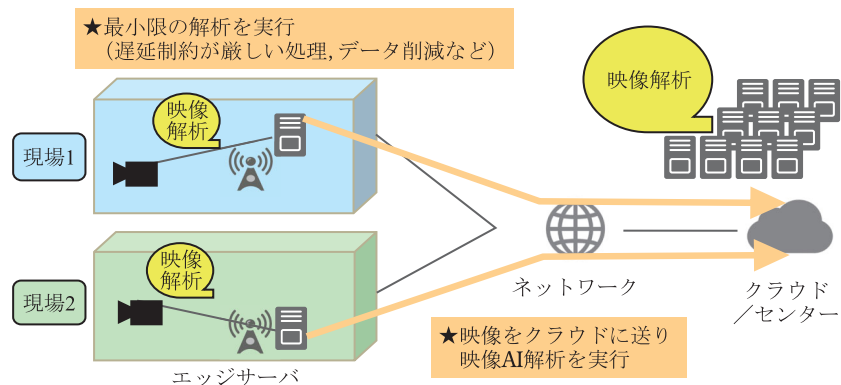
5G技術は、総務省を中心に2017年から種々の実証実験が行われている。低遅延特性を生かす高速制御として、トラック隊列走行・建機の遠隔操縦の実証が行われている。また高速・大容量特性を生かす高精細映像デー

用語解説

Kubernetes コンテナ化されたワークロードやサービスを管理するための、ポータブルで拡張性のあるオープンソースのプラットフォーム⁽¹⁰⁾。



(a) 従来の映像AI解析システム



(b) 理想的な映像AI解析システム

図3 映像AI解析システム構成の比較 (a)は従来の映像AI解析システムの構成。現場にサーバを置いて映像AI解析を実行して処理結果のみを伝送する。(b)は理想的な映像AI解析システムの構成。提案システムでは、映像データを伝送してクラウド/センターで映像AI解析を実行する。

タの安定伝送と目視利用として、遠隔診療・スポーツ映像配信・工事現場監視が検証されている⁽⁴⁾。

一方、映像をAI解析するシステムは、ディープラーニング(DL: Deep Learning)技術の発達で、映像から人の顔や全身や動作、車など特定対象物を高精度に検出することが可能となり、実用化が進んでいる。例えば、路上・店舗の不審行動者の検出⁽⁵⁾、食品事業者の手洗い確認⁽⁶⁾など、技術の応用分野が広がっている。

しかし、収集する映像データ量が大きいため、現在の映像AIシステムでは、インターネットを介したサーバ間の安定伝送が難しい。このため、現場に処理サーバを設置し、解析結果のみをクラウドあるいは企業内のデータセンター(以下クラウド/センターと表記)に伝送して、現場全体の情報可視化などに利用するシステム構成が主流である(図3(a))。

4. 映像AI解析システムの理想的な構成

映像AI解析に用いられるDL技術は処理負荷が高い。また、現場業務では、様々な要因で処理負荷が変動

する。まず、接続カメラ台数の増加に伴い処理負荷が上がる。また、1台のカメラで人の行動をAI解析する際、人の領域を切り出して個別に処理を行うソフト処理の場合には、映像に映る人数が増加しても処理負荷は上がる。このように処理負荷そのものが高かつ変動する場合には、ピーク処理量を想定し、その負荷に耐え得るGPUを搭載した高性能サーバを現場に設置する必要がある。結果、サーバのシステム機器コストが膨大になるとともに、サーバの設計・運用・管理が大変になる。顧客にとっては、コスト高・サーバ管理の困難さが課題となり、またベンダにとっても、システムの設計・機器設置の困難さが課題となる。

これらの課題を解決するためには、映像AI解析にエッジサーバとクラウド/センターサーバの両方を連携して活用するエッジ・クラウド/センター連携構成のシステムが有効である。処理負荷の変動は、ハードウェアリソース配分の柔軟性が高いクラウド/センターサーバで吸収させ、現場には必要最小限の台数・性能のエッジサーバを設置する。具体的には、エッジサーバでは映像AI解析による異常検知後に即時機器停止が必要な処理

や映像圧縮等の前処理など最小限の処理を行う。そして、結果出力の遅延を秒オーダーまで許容できる処理は、処理負荷の変動に応じたシステム構成変更が容易なクラウド／センターへ映像伝送して複数現場の映像解析を一括して実施する（図3(b)）。

5. エッジ・クラウド／センター連携の実現技術

エッジ・クラウド／センター連携構成での映像 AI 解析システムを実現するためには、二つの問題をクリアする必要がある。

一つめは、データ転送の問題である。映像データはサイズが大きいため、エッジサーバとクラウド／センターサーバとの間をインターネット経由でリアルタイムに安定伝送するのは困難であり、ネットワーク帯域のひっ迫がボトルネックになる。

二つめは、現場の状況に合わせた最適なシステム設計方法の問題である。従来のように、人の経験に頼りトライ＆エラーで性能要件を満たすシステムを設計していたのでは、コストアップにつながる。

そこで本章では、これらの問題を解決し、高品質かつ低コストのリアルタイム映像 AI 解析ソリューションを実現する技術を紹介する。

5.1 映像データ圧縮技術

映像データ伝送時のネットワーク帯域のひっ迫を防ぐためには、映像データをできる限り小さなサイズに圧縮することが必須である。しかし、映像データの圧縮率に応じて画質が劣化するため、映像 AI が注目する画素を過度に圧縮すると認識率が低下する。そこで、映像 AI での認識確度を維持したまま、映像データのサイズを大幅に削減できる技術を紹介する^{(7),(8)}。一般的な映像データ圧縮方式では、映像の1フレームである画像を格子状に区切ったブロックごとに、人が見て違和感のない画質となる圧縮率を設定している。本技術では、映像 AI が判断材料として認識している対象物のブロックを自動的に解析し、映像 AI がブロックごとに認識できる必要最低限の画質で映像データ圧縮を行う^{(8),(9)}（図4）。

具体的には、1フレームごとに画像全体の圧縮率を変えて画質を変化させ、ブロックごとに認識結果への影響度を集計する。圧縮率の変化に対する影響度の変化から、非圧縮時と同等の認識ができる限界の圧縮率をブロックごとに推定する。

5.2 システムの設計技術

一般の Web アプリ向けシステムにおけるクラウド／センターサーバのシステム設計・構築では、個々の機能をコンテナ単位に分割し、コンテナを自由に組み合わせ

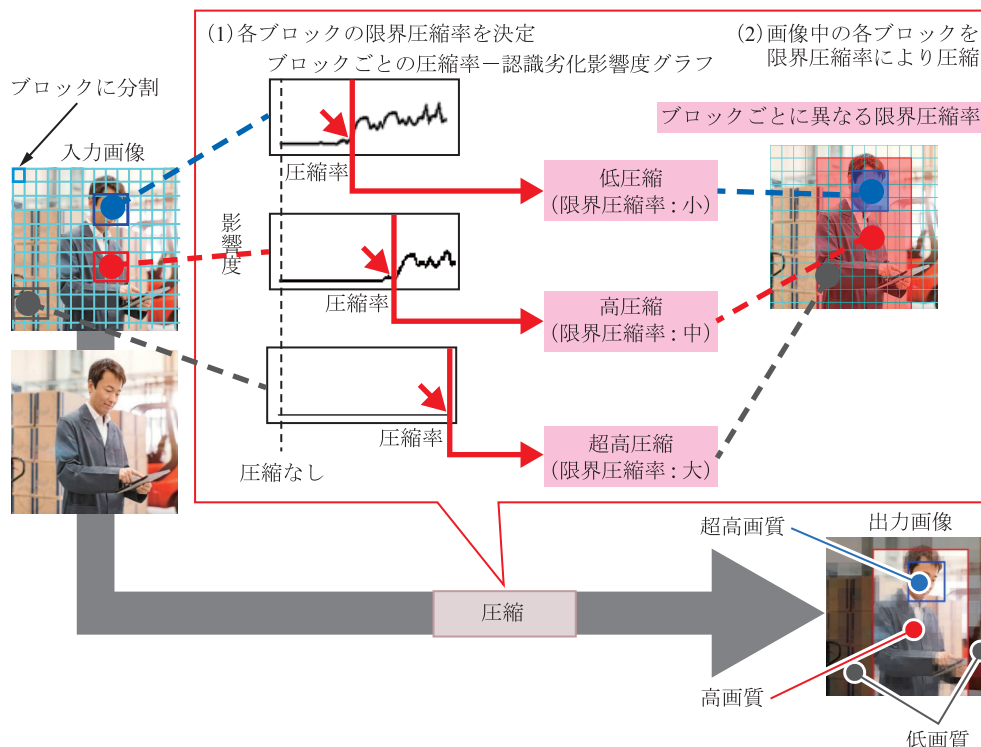


図4 AI 圧縮の原理 映像 AI 解析の結果に影響を与えるブロックを判別し、そこが高画質となるようにブロックごとに圧縮率を変える。

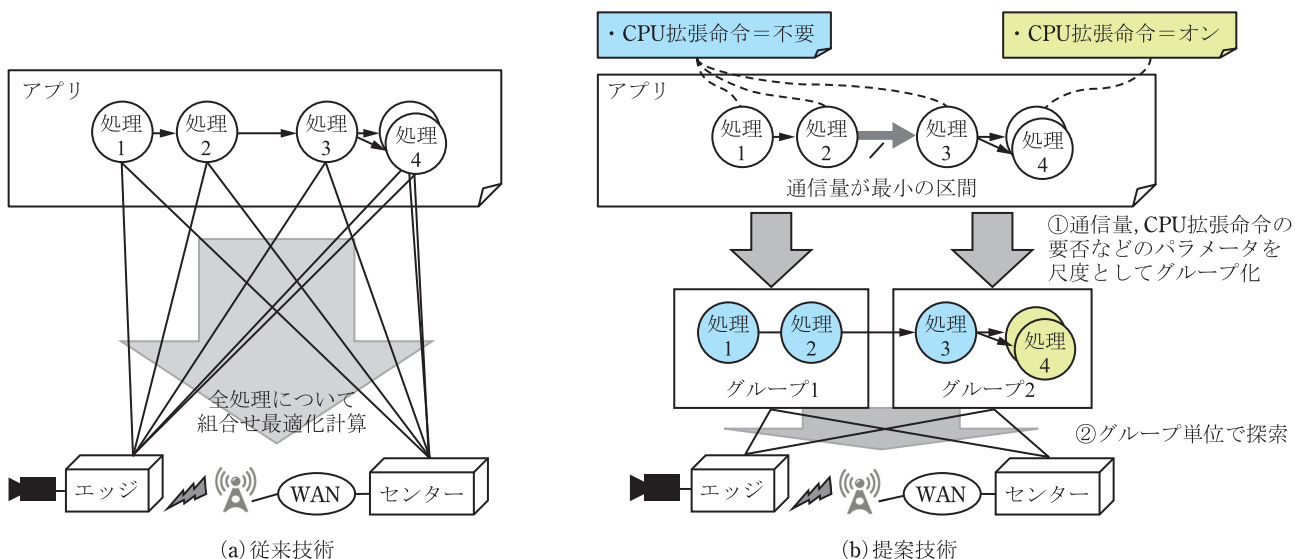


図5 映像AI解析システム構築技術の概要 映像AIの各処理をグループ化してから配置計算をすることで、配置の組合せ数を削減することができ、高速に組合せ最適化計算を行うことが可能になる。

て配置することで業務フローや性能要件を満たすシステムを容易に構築できる技術が普及し始めている。この技術では、コンテナ配置の際に、各コンテナが要求するCPU数、メモリ量だけを考慮している。一方、映像AI解析システムの場合、GPUなどの他のハードウェアリソースや、映像伝送時の通信帯域なども考慮しないと所望の性能を実現することが難しい。

そこで、構築する映像AI解析システムが映像処理の性能要件を満たす最適なシステム構成を自動的に設計する技術を紹介する(図5)。ここでは従来のCPU数、メモリ量だけでなく、GPUメモリ量、CPU拡張命令、CPUクロック、映像伝送帯域など、映像処理に重要な多種多様なパラメータも考慮している。

しかし、単純に映像処理ごとに組合せ最適化計算を行うと、考慮するパラメータ数が従来よりも多いため、10数台規模のシステム設計でも数日オーダの計算を要する。そこで、特性が類似した映像処理群を一つの類似処理グループとし、類似処理グループ単位で組合せ設計を行うことで、計算する組合せ数を減らし、システム設計にかかる計算時間の大幅削減を実現している。具体的には、通信量及びハードウェアリソースなどの映像処理特性を表すパラメータを基準として用い、通信量が多い類似ハードウェアリソースを使用する処理を極力同一サーバへ配備するように映像処理群をグループ化する。

5.3 評価

本章では、開発した技術によりエッジ・クラウド/センター連携構成で映像AI解析を行うことによる、映像データ伝送サイズの削減率、及びシステム設計にかかる時間とコスト削減効果の評価結果について説明する。

表1 システム設計時間の削減効果 従来は約100時間かかっていた設計を約1/10,000時間に短縮。

	システム設計時間 (時間)
単純な自動化 (総当り計算)	102.2493
本技術による自動化	0.0001

5.3.1 映像データ圧縮技術

工場内で点検作業を行っている複数の作業員の様子を高精細カメラ(Full-HD)で撮影した映像に本技術を適用した。データサイズを約1/7(従来の映像データ圧縮:11,814Byte→開発したAI向け映像データ圧縮:1,527Byte)に削減できた上で、全てのフレームで人の行動解析の認識精度が劣化しないことを確認している⁽⁹⁾。

5.3.2 システム設計技術

工場での現場業務一括モニタリングに適用するケースを想定した評価結果を示す(表1)。2台のカメラ映像を解析するそれぞれ4コンテナで構成された映像AI解析処理ソリューション(合計8コンテナ)を実行する場合に、性能を満たすシステム構成を決定するのに、従来の総当り計算では約100時間を要する。一方、本技術を用いることで、システム設計を1秒未満(約1/10,000時間)で実行することができる。

また、Kubernetes^(用語)などの処理配備機構により、システム設計結果に基づく処理の配備を数秒で実行することができる。そして、AI解析負荷が変動するリアルタイム映像解析システムにおいて、システム構成を即座に変更・最適化してシステムを安定化させることが可能となる。

5.3.3 コスト削減効果

工場で高精細カメラ (Full-HD・5fps) × 30 台を平日 8 時間稼働するケースを想定してコスト試算を行った。現場のエッジサーバで映像 AI 解析を全て行う場合は、高性能サーバ (CPU: 3 GHz, 8 コア, メモリ 32 GByte, GPU: 並列処理コア 2,304 個, メモリ 8 GByte) × 3 台が必要である。一方、エッジとして Jetson NX, クラウド/センターとして現場のエッジサーバ使用時とほぼ同等性能の AWS (Amazon Web Service) を使用して構築する場合、現場に AI 向け映像データ圧縮用の Jetson NX × 2 台 + AWS (CPU: 2.5 GHz, 8 コア, メモリ 64 GByte, GPU: 並列処理コア 2,560 個, メモリ 16 GByte) の構成となる。結果、現場のエッジサーバで映像 AI 解析を全て行う構成と比較して、初期導入コストを 1/10 に削減、運用コストを 66 か月までは安く抑える効果があることを確認した。

6. 今後の展望

本稿では、アフターコロナに向けて現場業務のリモートワークを実現する技術を紹介した。現場業務においても ICT 技術を活用したリモートワーク実現などの業務変革推進の流れは加速する一方である。カメラからの高精細映像の伝送に適したローカル 5G 技術の商用利用も始まり、5G 技術と映像 AI 解析技術を活用したソリューションへの期待は高まっている。工場ライン以外にも店舗・工事・病院などでの管理・監視・指示以外の現場業務に対しても、同様のソリューションによる業務改善が広がっていくと考える。

一方で、増大し続ける高精細映像データを扱う映像 AI 解析システムでは、伝送データ量削減やシステム設計の課題のほかにも課題がある。一例として、システム構成変更時に処理が一時停止し、その間に発生したイベントを検出できないことが起きると問題となる。このようなシステム運用中の解析処理の連続性が大きな課題となると想定しており、今後も注力すべき研究分野として新たな課題に取り組んでいく。

文 献

- (1) “日本における企業のデジタルトランスフォーメーション調査 2020 年版,” 電通デジタル, 2020.
- (2) “注目分野に関する動向調査 2019,” 電子情報技術産業協会, 2019.
- (3) <https://www.fujitsu.com/jp/reimagine/5g/article/seminar01/> (2020 年 12 月 21 日参照)
- (4) 総務省, “令和元年度 5G 総合実証試験の開始.” https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000390.html (2019 年 8 月 16 日参照)
- (5) 杉村由花, 内田大輔, 鈴木源太, 遠藤利生, “映像からの人の

様々な行動を認識する「行動分析技術 Actlyzer」, 人工知能学会全国大会 2020, 4Rinl-57, Oct. 2020.

- (6) <https://pr.fujitsu.com/jp/news/2020/05/26.html> (2020 年 5 月 26 日参照)
- (7) 雷 旭穎, 高良雄一郎, 小林俊輔, 横尾 郁, 中川 章, “Rate-Distortion 理論に基づいたオートエンコーダによる深層特徴圧縮に関する検討,” 画像符号化シンポジウム 2020, P1-A-3, Nov. 2020.
- (8) 久保田智規, 中尾鷹詔, 加藤正文, 吉田英司, 三好秀誠, “深層学習をインスタンスセグメンテーションに適用した際の予測品質が劣化する原因を解析する手法,” 信学技報, SIP 2020-14, Biox 2020-14, IE 2020-14, MI 2020-14, pp. 67-72, May 2020.
- (9) 久保田智規, 中尾鷹詔, 吉田英司, 久保田 真, “AI 解析に適した映像データ高圧縮技術〜クラウド・5G での利用に向けて〜,” 富士通テクニカルレビュー, Aug. 2020. <https://www.fujitsu.com/jp/about/resources/publications/technical-review/topics/article003.html> (2020 年 12 月 21 日参照)
- (10) <https://kubernetes.io/ja/docs/concepts/overview/what-is-kubernetes/> (2021 年 1 月 29 日参照)

(2021 年 1 月 15 日受付 2021 年 2 月 15 日最終受付)



やまぐち のぶゆき
山口 伸康

1990 東大・工・精密機械卒。1992 同大学院工学系研究科修士課程精密機械工学専攻了。同年(株)富士通研究所入社。2021 富士通株式会社, 現在, 画像処理に関する研究に従事。



いしい だいきすけ
石井 大祐 (正員)

2006 東京理科大・理・応用物理卒。2008 早大大学院国際情報通信研究科修士課程了。2009 同大学助手。2015(株)富士通研究所入社。2021 富士通株式会社, 現在に至る。映像解析技術及び映像システムの研究開発に従事。博士(国際情報通信学)。



くぼた とものり
久保田 智規 (正員)

1998 中大・理工・電気電子卒。2000 同大学院理工学研究科修士課程電気電子工学専攻了。同年富士通株式会社入社。2008(株)富士通研究所。2021 富士通株式会社, 映像利活用システムの各種技術に関する研究開発に従事。



やまうち ひろあき
山内 宏真

2005 早大・理工・電気電子情報卒。2007 同大学院理工学研究科修士課程情報ネットワーク専攻了。同年(株)富士通研究所入社。2021 富士通株式会社, 以来, 並列処理技術及びスケジューリング技術の研究開発に従事。



くぼた まこと
久保田 真 (正員)

1996 東大・工・電気電子情報卒。同年(株)富士通研究所入社。2021 富士通株式会社, 以来, ネットワーク制御技術, エッジ・クラウドを活用したオーケストレーション技術に従事。現在, 同社 5G Vertical Service 室シニアマネージャ。



やまもと たかや
山本 隆哉

1981 東大・工・計数卒。同年富士通株式会社入社。2004(株)富士通研究所。2021 富士通株式会社, 通信機器の設計・開発, CATV 機器の開発を経て画像処理及び映像システムの研究開発に従事。現在, 同社 5G Vertical Service 室シニアエキスパート。