

セレンディピターの 研究開発



東京大学理学系研究科
平木 敬

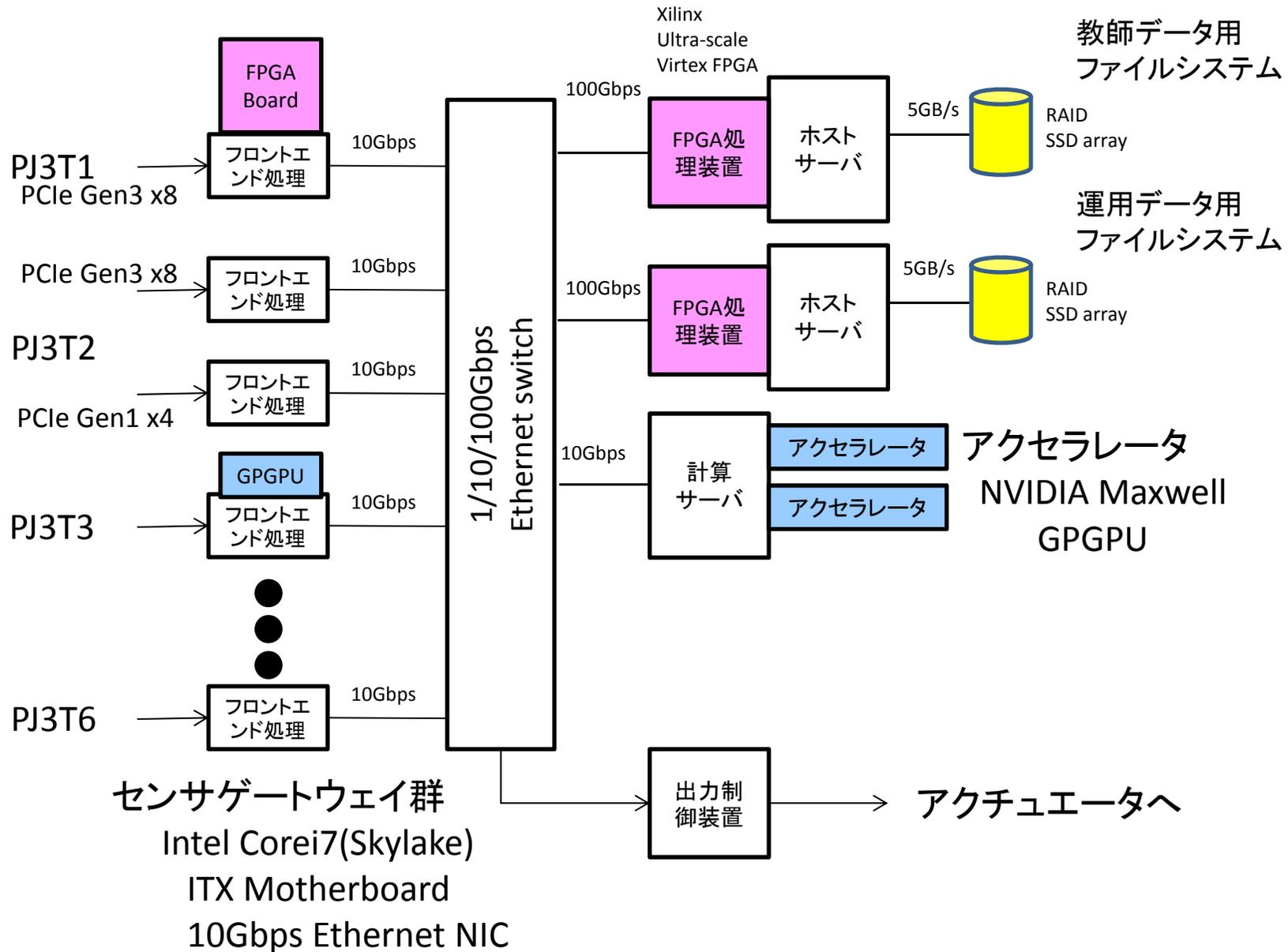
セレンディピターとは何か

- 超高速に細胞の計測、解析、分取を実現する装置
 - いわゆるセルソータ、FACSの超高速、超高級版といえる
 - 光学、化学、生物学、医学と情報科学研究者の共同開発
 - 内閣府ImPACTプログラムの一つ
 - 目的は、血球の計測、がん細胞の計測、藻類の計測
- 情報科学メンバーの仕事
 - 計測データをサンプリングし、解析、蓄積、分別するシステムを作る
 - リアルタイムのAIシステムの一つ(とても難しい)

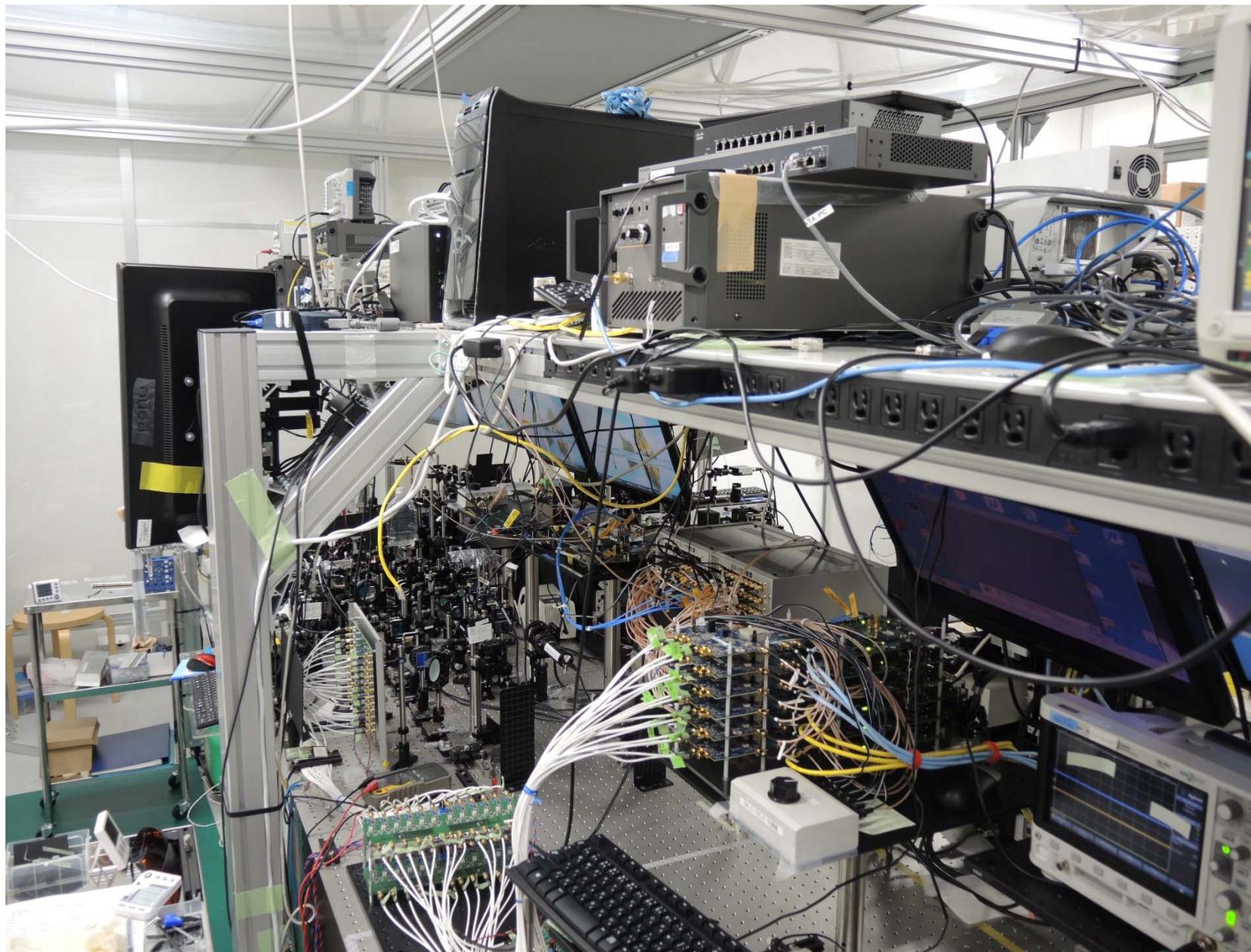
セレンディピターの動作原理

- 多数センサからのデータを用いた多次元解析
 - 一つ一つのセンサーデータの弁別率は低い
 - 多数センサーを同時解析することで、非常に高い弁別率を実現
- 超高速のデータ処理
 - 目標性能値
 - 10000細胞/秒のスループット
 - 10msのデータ処理時間
 - 4次元の計測(明視野画像、SRSラマン、広帯域ラマン、蛍光分析)

情報処理システム全体設計



セレンディピターの全景

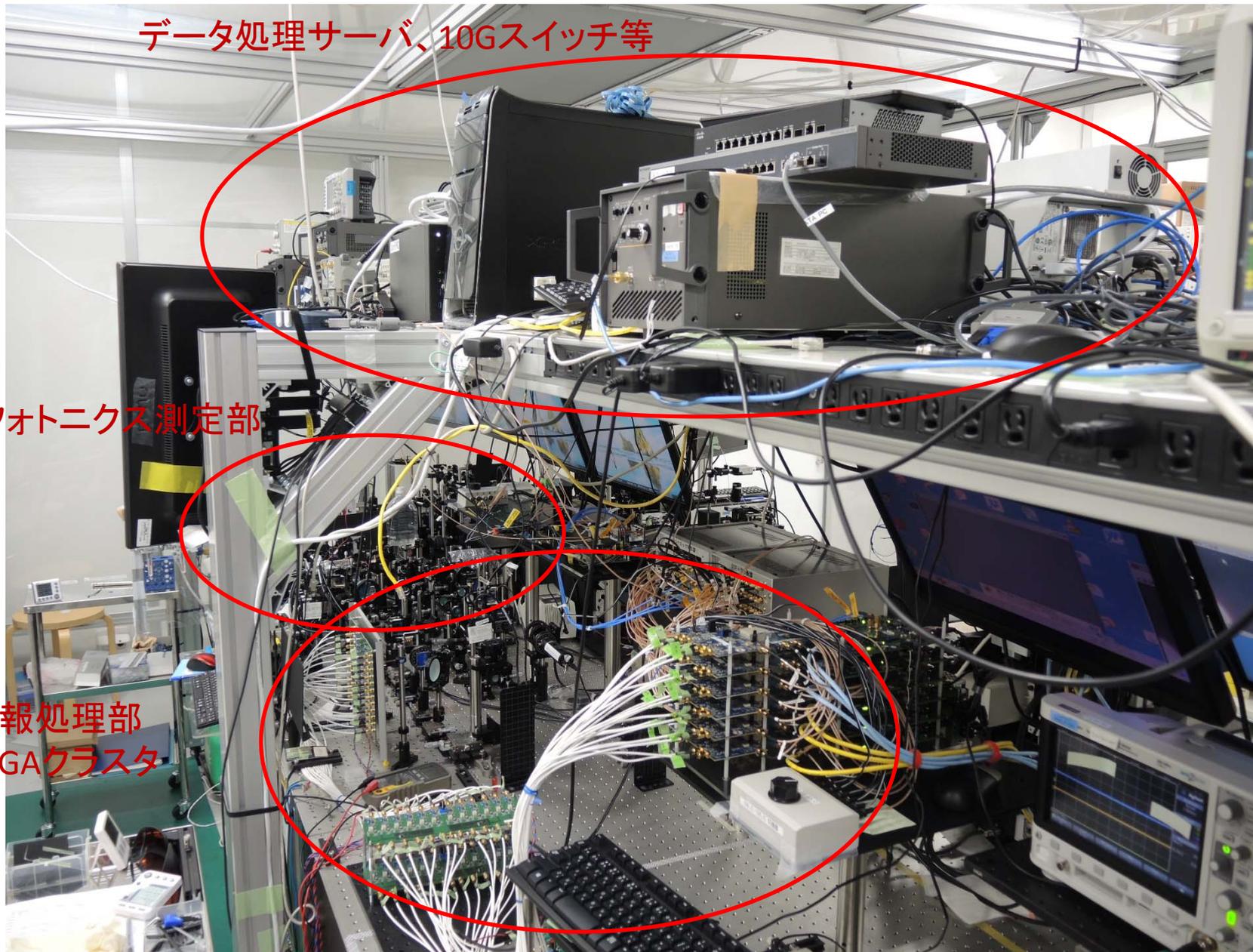


セレンディピターの全景

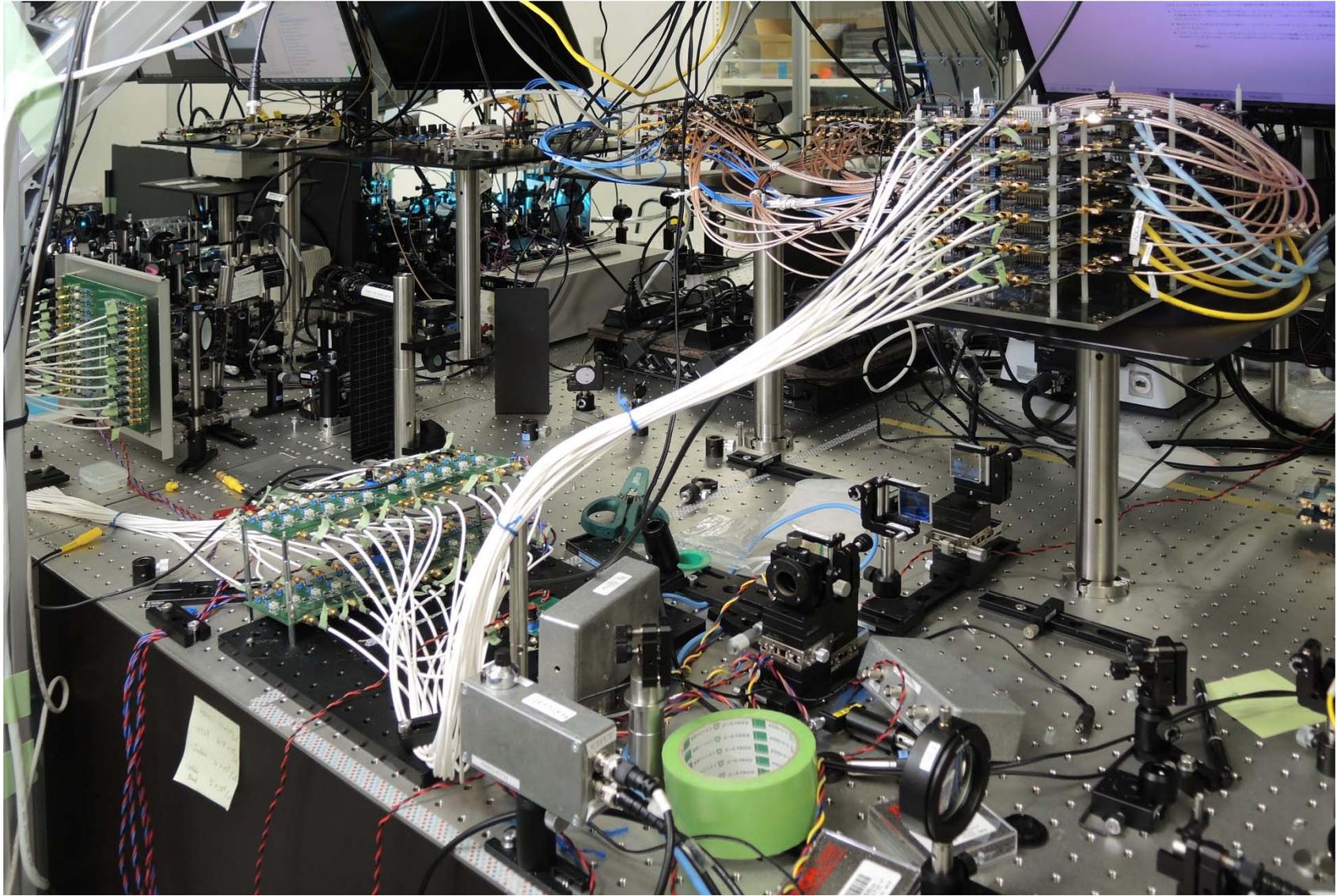
データ処理サーバ、10Gスイッチ等

フォトニクス測定部

情報処理部
FPGAクラスタ

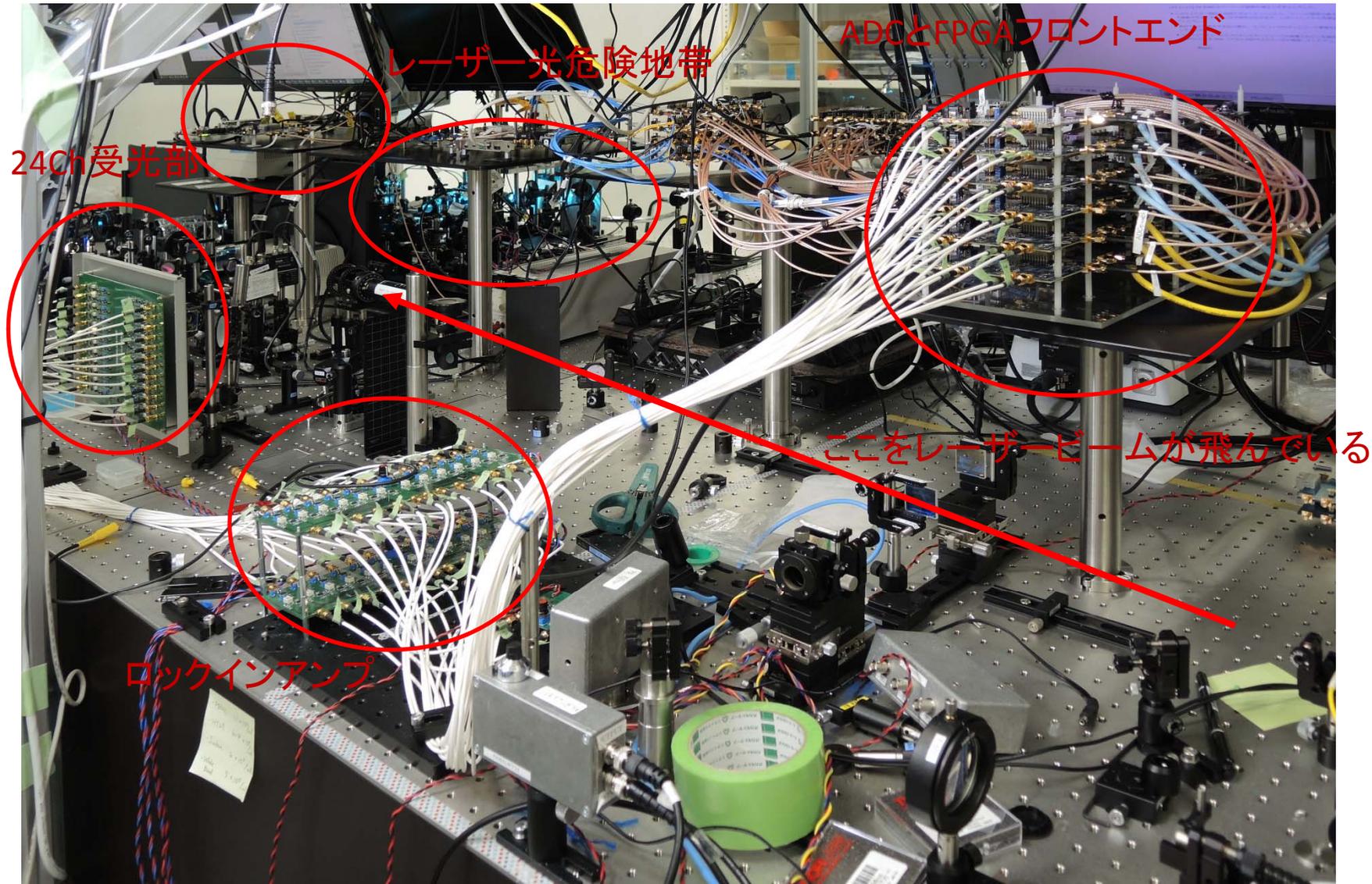


情報処理部の全景

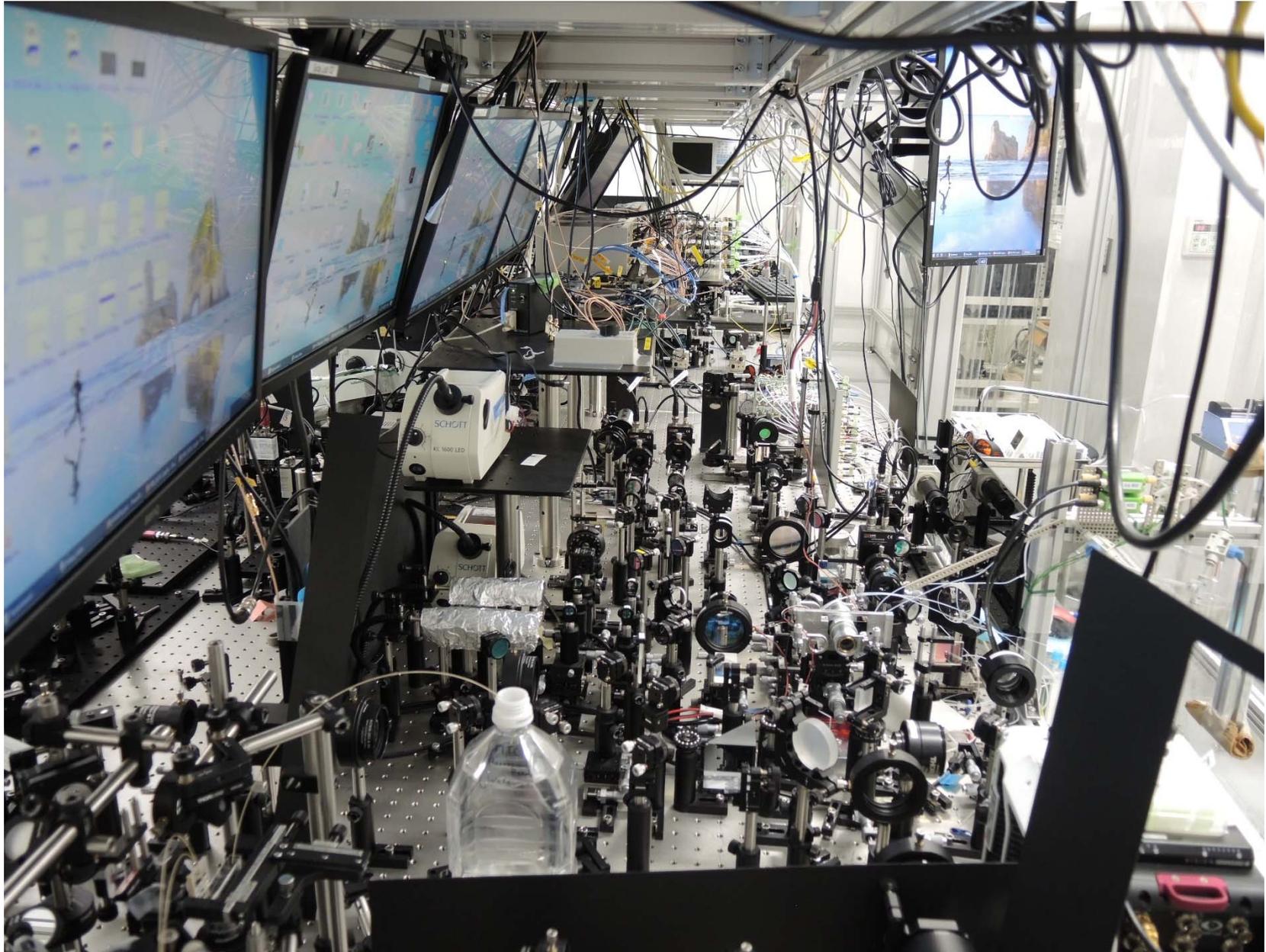


情報処理部の全景

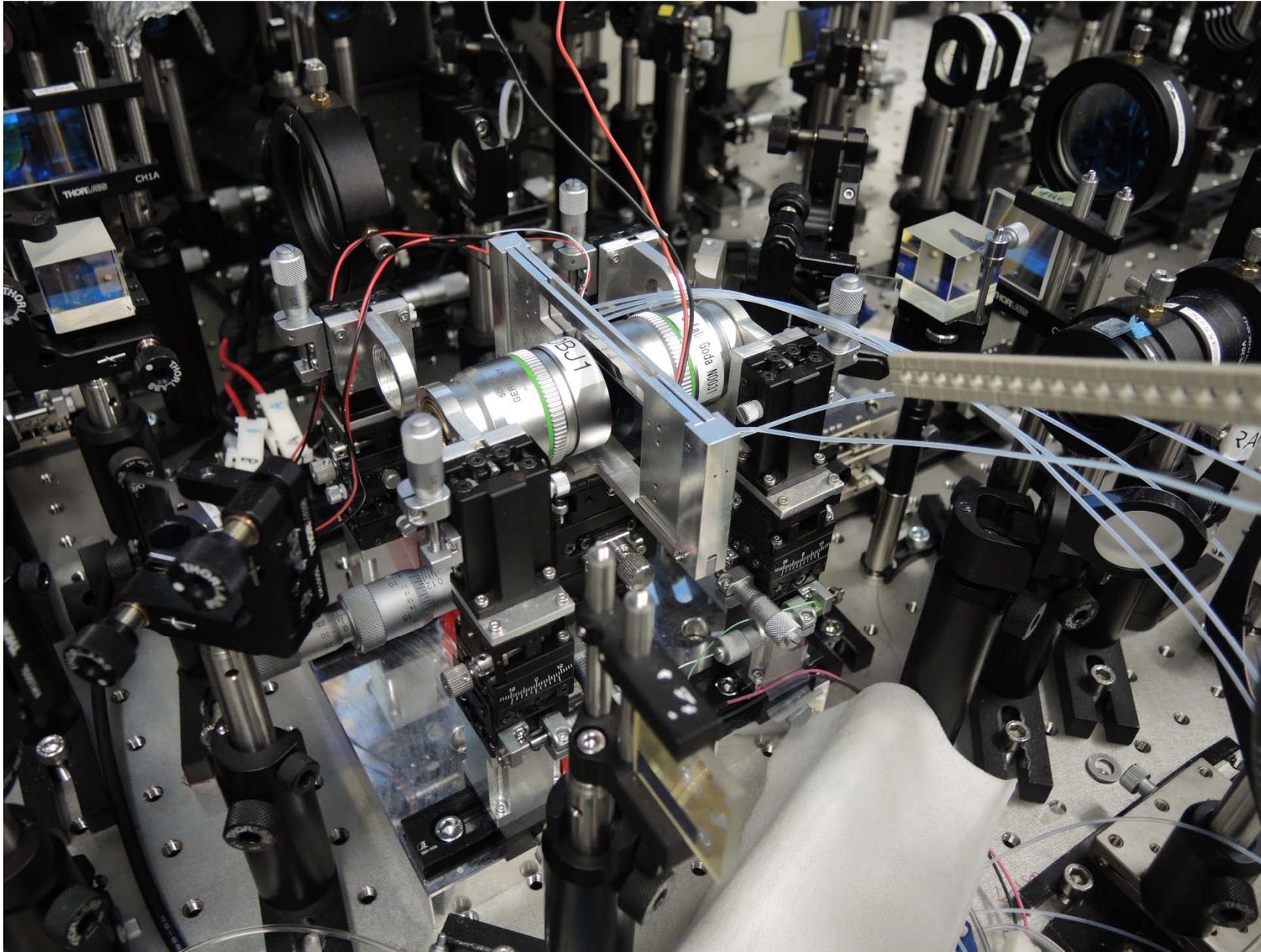
分取コントロールユニット



光学系の全景



測定部の全景



ここで自己紹介

- 情報理工学系研究科創造情報学専攻
 - コンピュータアーキテクチャ
 - 並列処理
 - インターコネクト
 - 超高速インターネット
 - 今は理学系研究科化学専攻合田研究室に所属
- なぜセレンディピター研究開発に取り組んだか？
 - FPGAベースのシステムを構築することが必要だった
 - リアルタイムのAIシステムは面白そうだった
 - アーキテクチャとFPGAを駆使することが必要
 - 要求仕様が無茶苦茶にきびしい
 - AIは新たに挑戦する分野として面白そう

セレンディピター研究開発に加わった真の理由

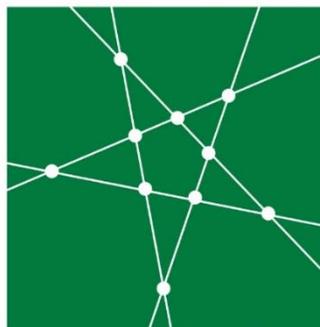
- 要するに、抜けられなくなった
 - 抜けるとプロジェクトが立ちいかななくなることを心配
 - 私の人生は割とこういうことばかり
 - 全体アーキテクチャ設計とか、FPGAの詳細設計は誰もが出来る訳ではない

Serendipiterの紹介

- 合田先生作成のスライドを使います



ロゴの説明：点と点がつながると線になり、線と線が交わると形になる



[ImPACT Program]

Planned Serendipity

セレンディピティの計画的創出

世界初のインテリジェント画像活性細胞選抜法を開発 ～細胞画像の深層学習により高速細胞選抜を実現～

科学技術振興機構プログラムマネージャー
東京大学大学院理学系研究科教授

合田圭介



Intelligent Image-Activated Cell Sorting

Nao Nitta,^{1,2} Takeaki Sugimura,^{1,2} Akihiro Isozaki,¹ Hideharu Mikami,¹ Kei Hiraki,¹ Shinya Sakuma,³ Takanori Iino,⁴ Fumihito Arai,³ Taichiro Endo,^{5,6} Yasuhiro Fujiwaki,⁴ Hideya Fukuzawa,⁷ Misa Hase,¹ Takeshi Hayakawa,⁸ Kotaro Hiramatsu,¹ Yu Hoshino,⁹ Mary Inaba,¹⁰ Takuro Ito,^{1,2} Hiroshi Karakawa,¹ Yusuke Kasai,³ Kenichi Koizumi,¹⁰ SangWook Lee,¹ Cheng Lei,¹ Ming Li,¹¹ Takanori Maeno,¹² Satoshi Matsusaka,¹³ Daichi Murakami,¹⁰ Atsuhiko Nakagawa,¹⁴ Yusuke Oguchi,¹⁵ Minoru Oikawa,¹⁶ Tadataka Ota,¹ Kiyotaka Shiba,¹⁷ Hirofumi Shintaku,¹⁸ Yoshitaka Shirasaki,¹⁵ Kanako Suga,¹⁷ Yuta Suzuki,⁴ Nobutake Suzuki,¹⁵ Yo Tanaka,¹⁹ Hiroshi Tezuka,¹⁰ Chihana Toyokawa,⁷ Yaxiaer Yalikun,¹⁹ Makoto Yamada,^{5,20} Mai Yamagishi,¹⁵ Takashi Yamano,⁷ Atsushi Yasumoto,²¹ Yutaka Yatomi,²¹ Masayuki Yazawa,²² Dino Di Carlo,^{1,11,23,24} Yoichiro Hosokawa,²⁵ Sotaro Uemura,¹⁵ Yasuyuki Ozeki,⁴ and Keisuke Goda^{1,2,26,27,*}

¹Department of Chemistry, The University of Tokyo, Tokyo 113-0033, Japan

²Japan Science and Technology Agency, Saitama 332-0012, Japan

³Department of Micro-Nano Mechanical Science and Engineering, Nagoya University, Nagoya 464-8603, Japan

⁴Department of Electrical Engineering and Information Systems, The University of Tokyo, Tokyo 113-8656, Japan

⁵Center for Advanced Intelligence Project, RIKEN, Tokyo 103-0027, Japan

⁶ExaWizards Inc., Tokyo 105-0013, Japan

⁷Graduate School of Biostudies, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan

⁸Department of Precision Mechanics, Chuo University, Tokyo 112-8551, Japan

⁹Department of Chemical Engineering, Kyushu University, Fukuoka 819-0395, Japan

¹⁰Department of Creative Informatics, The University of Tokyo, Tokyo 113-0033, Japan

¹¹Department of Bioengineering, University of California, Los Angeles, Los Angeles, CA 90095, USA

¹²Institute of Medical Science, The University of Tokyo, Tokyo 108-8639, Japan

¹³Department of Gastroenterology, Cancer Institute Hospital, Japanese Foundation for Cancer Research, Tokyo 135-8550, Japan

¹⁴Department of Neurosurgery, Graduate School of Medicine, Tohoku University, Sendai 980-8577, Japan

¹⁵Department of Biological Sciences, The University of Tokyo, Tokyo 113-0033, Japan

¹⁶Science and Technology Unit, Natural Sciences Cluster, Kochi University, Kochi 780-8520, Japan

¹⁷Division of Protein Engineering, Cancer Institute, Japanese Foundation for Cancer Research, Tokyo 135-8550, Japan

¹⁸Department of Micro Engineering, Kyoto University, Kyoto 606-8501, Japan

¹⁹Center for Biosystems Dynamics Research, RIKEN, Osaka 565-0871, Japan

²⁰Graduate School of Informatics, Kyoto University, Kyoto 606-8501, Japan

²¹Department of Clinical Laboratory Medicine, Graduate School of Medicine, The University of Tokyo, Tokyo 113-0033, Japan

²²Department of Rehabilitation and Regenerative Medicine, Pharmacology, Columbia University, New York, NY 10032, USA

²³Department of Mechanical Engineering, University of California, Los Angeles, Los Angeles, CA 90095, USA

²⁴California NanoSystems Institute, University of California, Los Angeles, Los Angeles, CA 90095, USA

²⁵Graduate School of Materials Science, Nara Institute of Science and Technology, Ikoma 630-0192, Japan

²⁶Department of Electrical Engineering, University of California, Los Angeles, Los Angeles, CA 90095, USA

²⁷Lead Contact

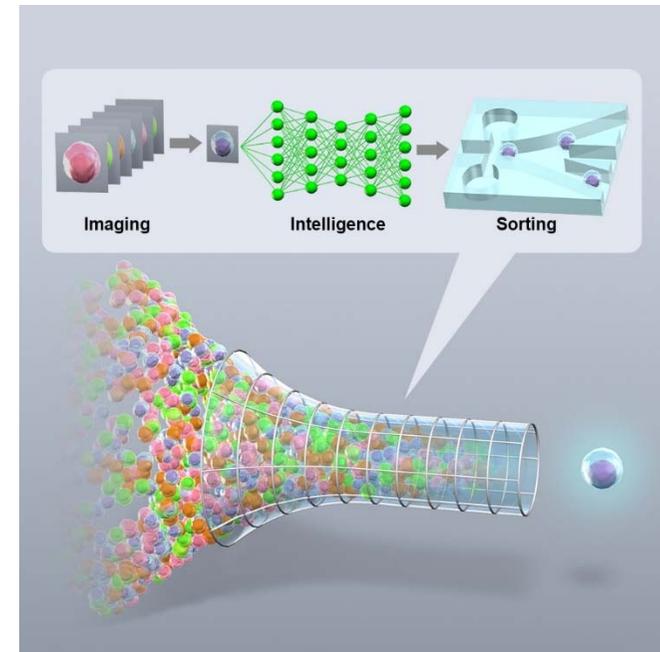
*Correspondence: goda@chem.s.u-tokyo.ac.jp

<https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.08.028>

SUMMARY

A fundamental challenge of biology is to understand the vast heterogeneity of cells, particularly how cellular composition, structure, and morphology are linked to cellular physiology. Unfortunately, conventional technologies are limited in uncovering these relations. We present a machine-intelligence technology based on a radically different architecture that realizes real-time image-based intelligent cell

processing, decision-making, and actuation. We use it to demonstrate real-time sorting of microalgal and blood cells based on intracellular protein localization and cell-cell interaction from large heterogeneous populations for studying photosynthesis and atherothrombosis, respectively. The technology is highly versatile and expected to enable machine-based scientific discovery in biological, pharmaceutical, and medical sciences.



Highlights

- Demonstration of deep-learning-assisted image-activated cell sorting
- Demonstration of the technology's utility to various types and sizes of cells
- Image-activated sorting of microalgal cells based on protein localization
- Image-activated sorting of blood cells based on cell-cell interaction



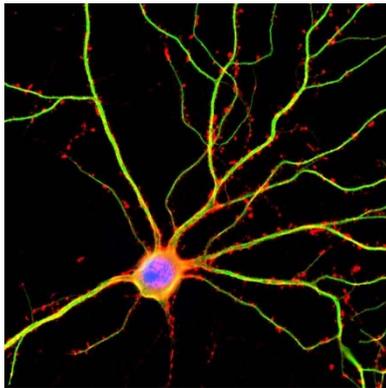
背景



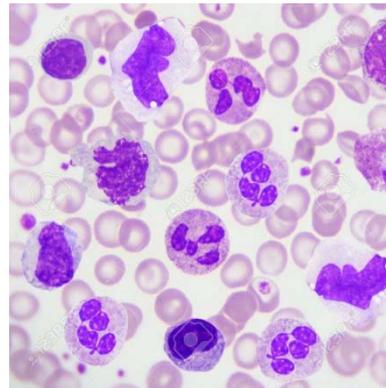
生命科学、医学、バイオ産業における細胞の重要性

細胞：生物体の構造上・機能上の基本単位

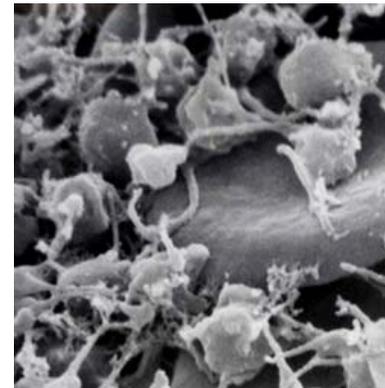
細胞の構造と機能を正しく理解することは生命科学、医学、バイオ産業の発展に不可欠



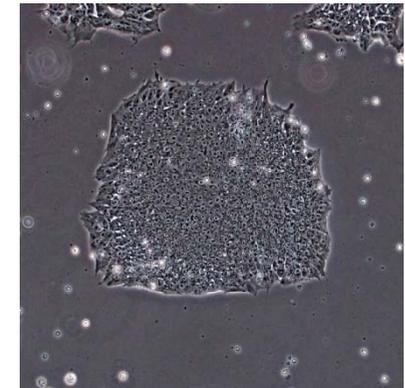
神経細胞 → 情報伝達



白血球 → 免疫



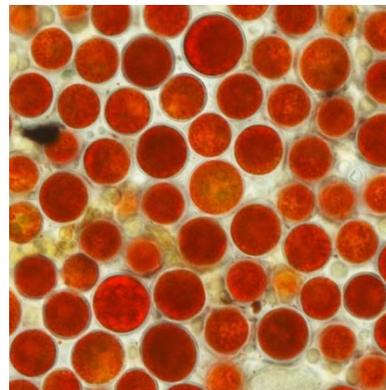
血小板 → 止血・血栓



幹細胞 → 再生医療



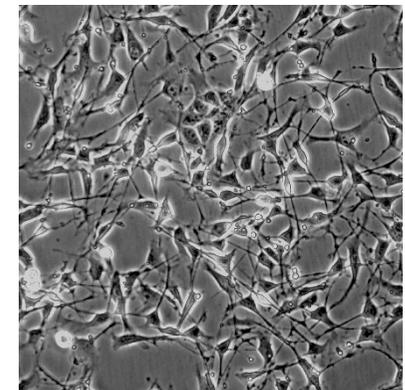
酵母 → 発酵



ヘマトコッカス
→ 食品



クラミドモナス
→ バイオ燃料



マウス細胞
→ バイオ医薬品

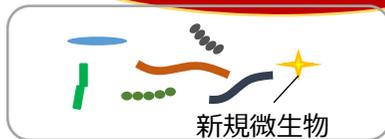


生命科学、医学、バイオ産業における細胞分析のニーズ

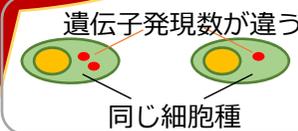
生命科学・医学

細胞生物学、分子生物学、微生物学、遺伝学、免疫学、病理学

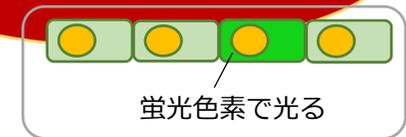
初めて見た細胞や機能が
まだ分からない細胞？



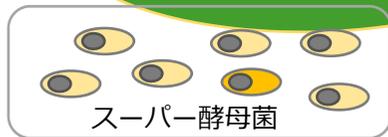
性質が異なる細胞だけ
拾って調べたいが？



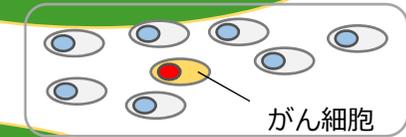
同じ種類の細胞なのに
薬剤耐性に違いが？



ビールの生産量を
増やせないかな？

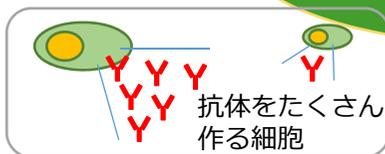


血液中のガン細胞を
診断に活用したいが？

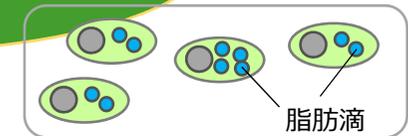


どうすれば...??

抗体医薬で使用する抗体
の生産量を上げたいが？



油をたくさん作る高生産性
の微生物はいないかな？



医療・バイオ産業

医薬品、新材料、再生医療、がん治療、食品、環境、エネルギー

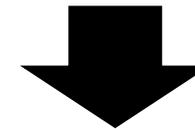


発見のためには網羅的な調査が必要だが大変



伝統的手法

- 多種多様な細胞集団内の細胞一つ一つを顕微鏡で調べて、特定の細胞を同定・分離し、集中的に分析する。
- いつ当たりを引くかは誰にもわからず、何千何万回と実験をしても全て無駄ということもありえる**非常に時間と手間のかかる地道で非効率な作業**。



これが出来る人は…？



大村智先生

スキーで国体出場もあるスポーツマンで、各地の土を集めて微生物の生産する有用な天然有機化合物の探索研究を45年以上行い、これまでに480種を超える新規化合物を発見した**スーパーマン**。

残念ながら、ほとんどの研究者は大村先生ほどの体力や精神力を持たない普通の人。

→ **普通の人でも大発見は出来ないものか？**

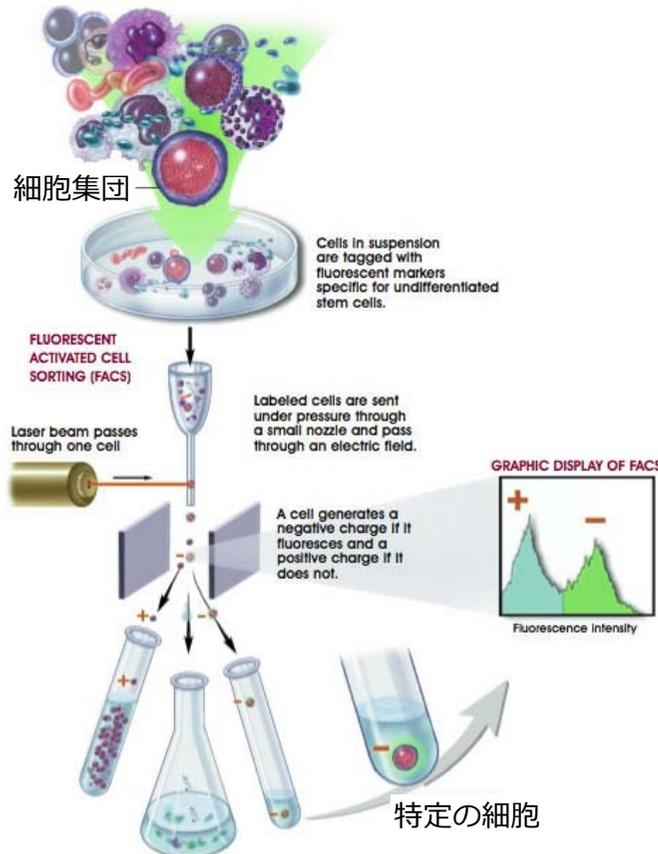


高スループット自動化技術の精度は低い



Fluorescence-Activated Cell Sorter (FACS)

- 蛍光抗体で染色した細胞集団を流し、レーザー光を照射することで、細胞を解析するとともに、特定の細胞を分取することを可能とする高スループット（高速）な自動技術。
- 免疫学、病理学、微生物学、分子生物学、遺伝学、再生医学、移植など多岐にわたる分野で**基盤技術として不可欠**。
- 1970年にL. A Herzenberg教授によって開発。



2006年

先端技術部門

バイオテクノロジー及びメディカルテクノロジー

レナード・アーサー・ハーツェンバーグ
(Leonard Arthur Herzenberg)

アメリカ / 1931年-2013年

免疫・遺伝学者

スタンフォード大学教授



残念ながら、FACSでは内部分子構造（転写因子の局在、核形状、細胞骨格など）、詳細な形態（大きさ、形状など）、細胞間コミュニケーション（細胞凝集など）などの空間情報をベースにした細胞の同定・分取が不可能。

→ **応用可能な用途が限定**

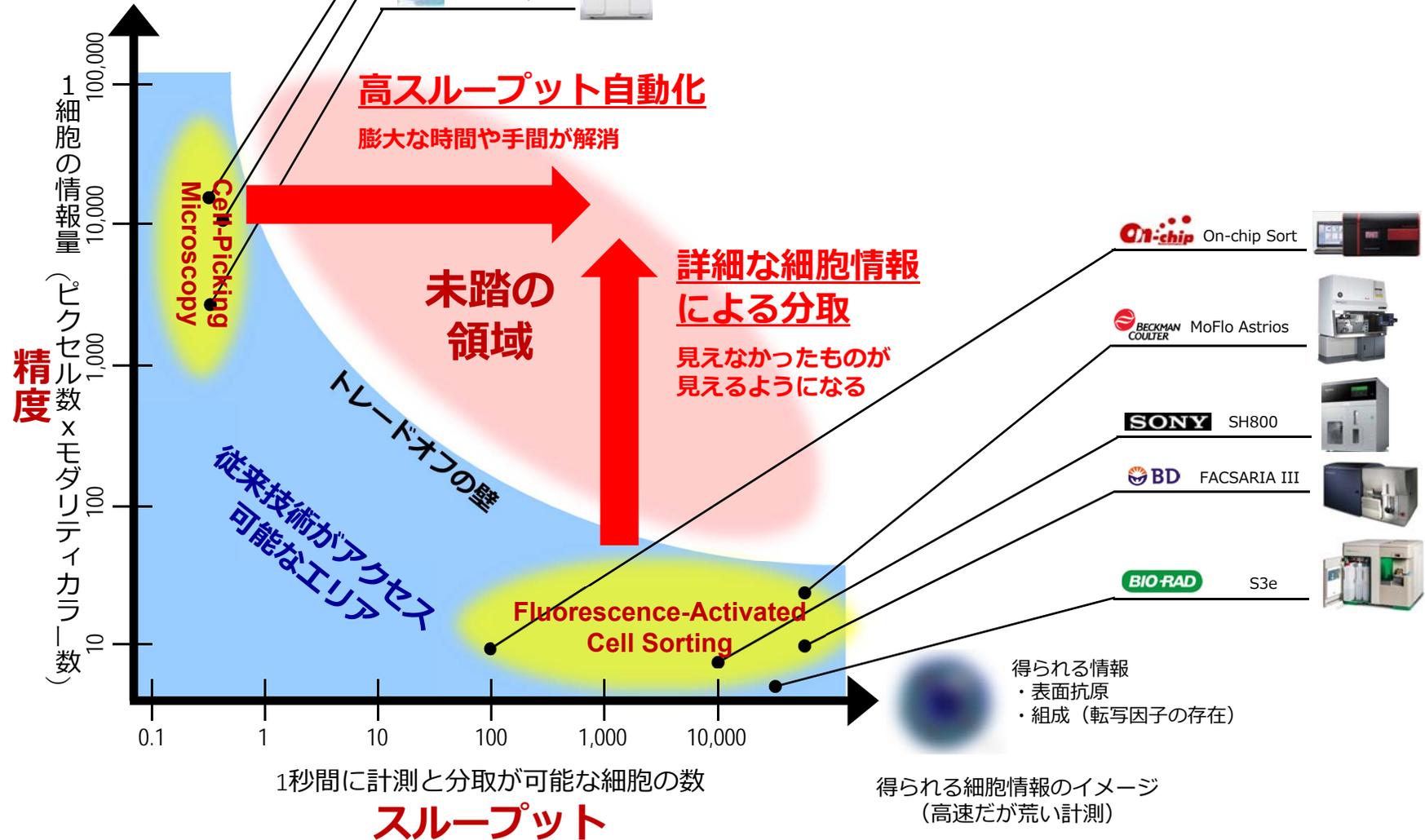


目指すべき方向性

得られる細胞情報のイメージ
(高精度だが低速な計測)

得られる情報

- ・表面抗原
- ・組成 (転写因子の局在など)
- ・構造 (核形状、細胞骨格など)
- ・形態 (大きさ、形状など)
- ・細胞凝集



PicoPipet



AS ONE AS OneCell



DEParray



On-chip Sort



MoFlo Astrios



SH800



FACSARIA III



S3e





「セレンディピティの計画的創出」プログラムの発足



本プログラムの理念



Photo : Peter Frick

**"Invent a new instrument,
invent a new method and the
world opens up."**

Steven Chu

1997 Nobel Prize in Physics



Nobel
Week
Dialogue



研究開発体制



- 発案は10年前、具体的構想は6年前、4年前に「セレンディピティの計画的創出」プログラム発足、プログラムは**9プロジェクト、30チーム（5～10名／チーム）、10分野以上、合計約200名の研究者**により構成。
- すべてのチームがお互いに連携を取り合い、一つの大きな目標のために共同で取り組む研究開発モデル（KEKやKAGRAなどの素粒子実験や重力波検出実験のモデルに近い）。
- 研究者の知名度にとらわれず、真の実力とポテンシャルを評価し、ImPACT後にも20年間は成長できるように、45歳未満の若手中心で構成。
→ **チームU45（少数のオーバーエイジ含む）**
- 異分野融合型の研究開発にとって足かせとなる年功序列や職位を徹底的に撤廃し、非効率な縦割り構造を破壊することで、**フラットな人間関係**を築かせ、**縦および横の連携を強化**。





研究開発計画

ImPACT事業



H26 Q3	H26 Q4	H27 Q1	H27 Q2	H27 Q3	H27 Q4	H28 Q1	H28 Q2	H28 Q3	H28 Q4	H29 Q1	H29 Q2	H29 Q3	H29 Q4	H30 Q1	H30 Q2	H30 Q3	H30 Q4
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

プロジェクト1
基本システム開発

プロジェクト2
細胞刺激技術開発

プロジェクト3
細胞計測技術開発

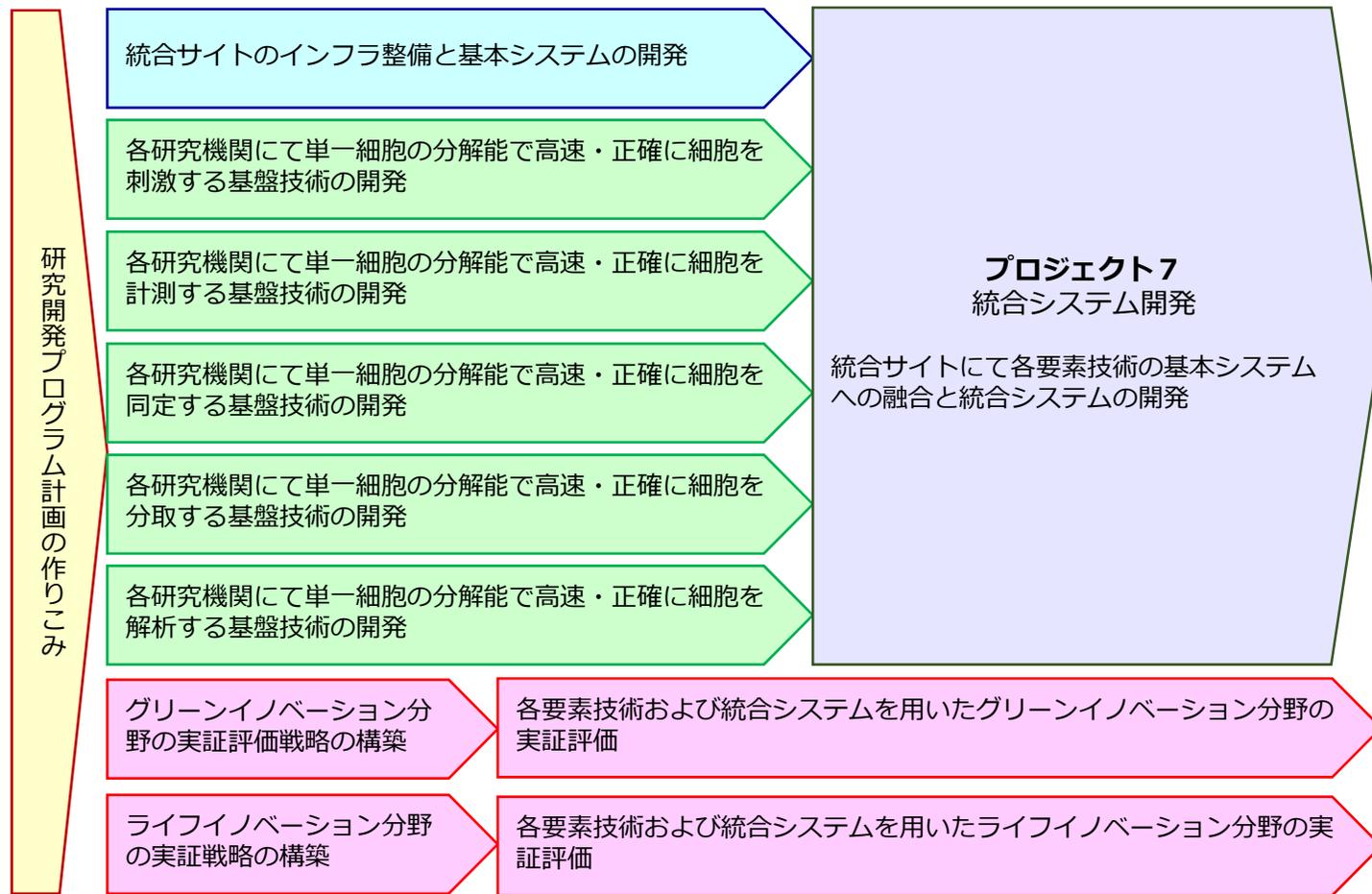
プロジェクト4
細胞同定技術開発

プロジェクト5
細胞分取技術開発

プロジェクト6
細胞解析技術開発

プロジェクト8
実証評価A

プロジェクト9
実証評価B





研究開発計画

今ここ

ImPACT事業



H26 Q3	H26 Q4	H27 Q1	H27 Q2	H27 Q3	H27 Q4	H28 Q1	H28 Q2	H28 Q3	H28 Q4	H29 Q1	H29 Q2	H29 Q3	H29 Q4	H30 Q1	H30 Q2	H30 Q3	H30 Q4
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

プロジェクト1
基本システム開発

プロジェクト2
細胞刺激技術開発

プロジェクト3
細胞計測技術開発

プロジェクト4
細胞同定技術開発

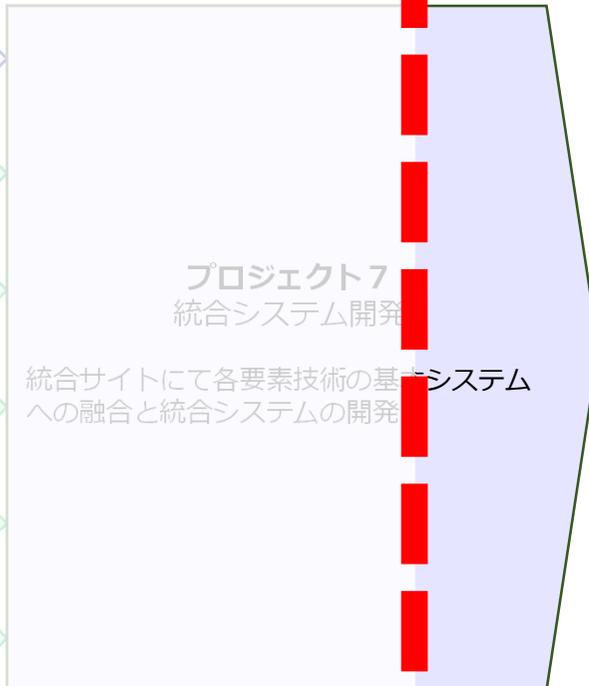
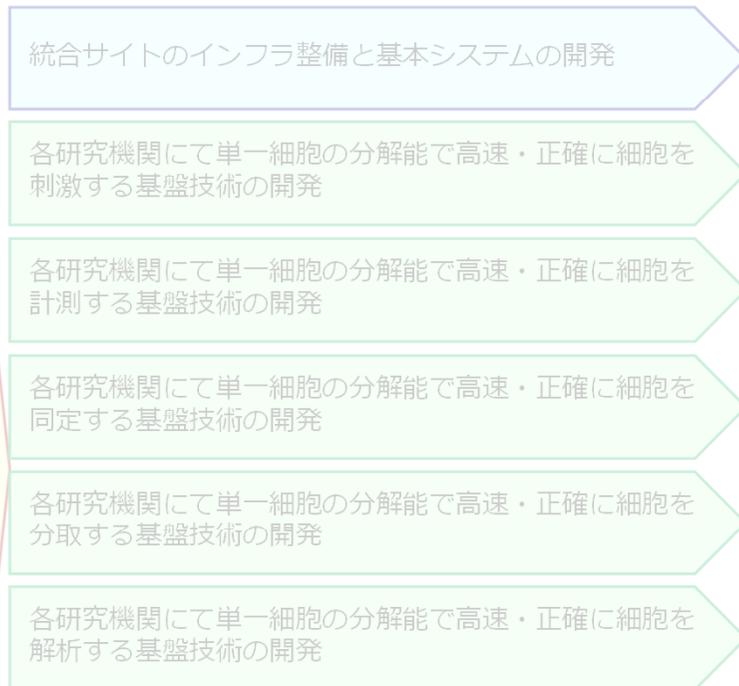
プロジェクト5
細胞分取技術開発

プロジェクト6
細胞解析技術開発

プロジェクト8
実証評価A

プロジェクト9
実証評価B

研究開発プログラム計画の作りこみ



グリーンイノベーション分野の実証評価戦略の構築

各要素技術および統合システムを用いたグリーンイノベーション分野の実証評価

ライフイノベーション分野の実証戦略の構築

各要素技術および統合システムを用いたライフイノベーション分野の実証評価

オープン化、ベンチャー事業化





研究開発拠点：Serendipity Lab

技術開発と実証評価を同所で進める事で、実用性の高い装置の開発を迅速に実施

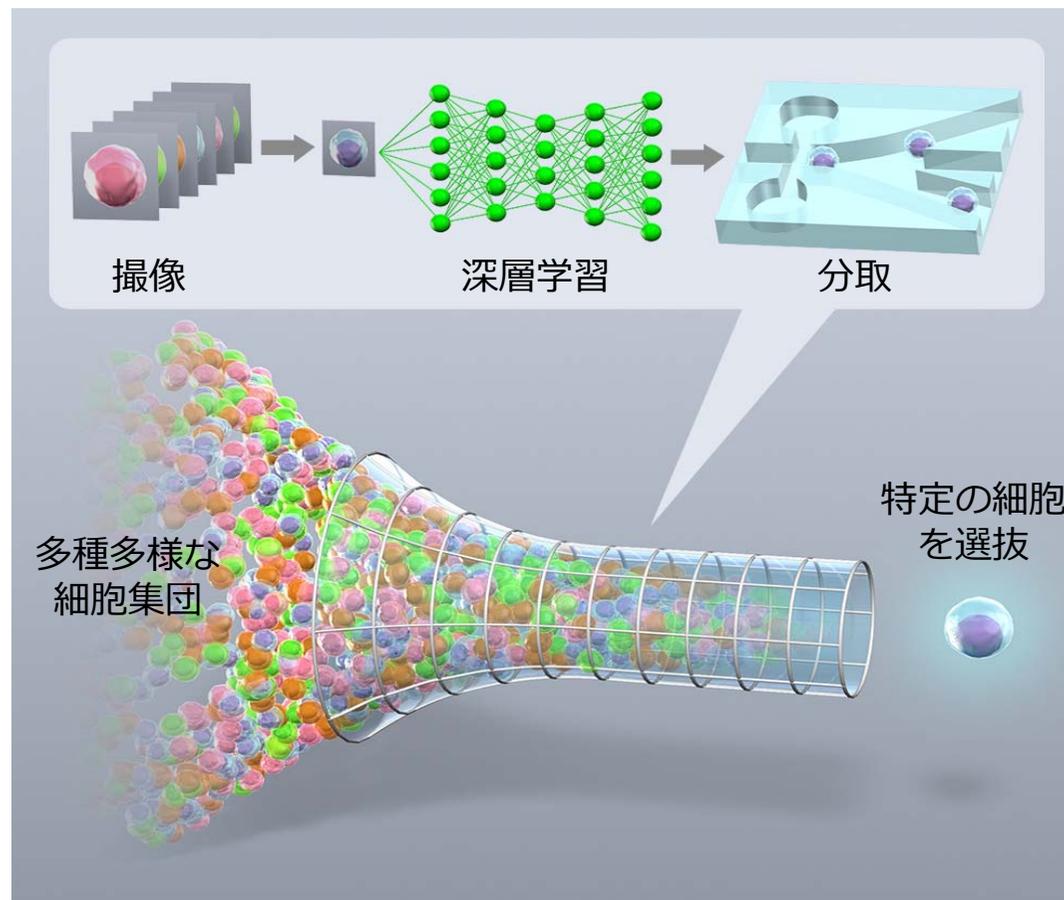




インテリジェント画像活性細胞選抜法 (Intelligent Image-Activated Cell Sorter) の紹介



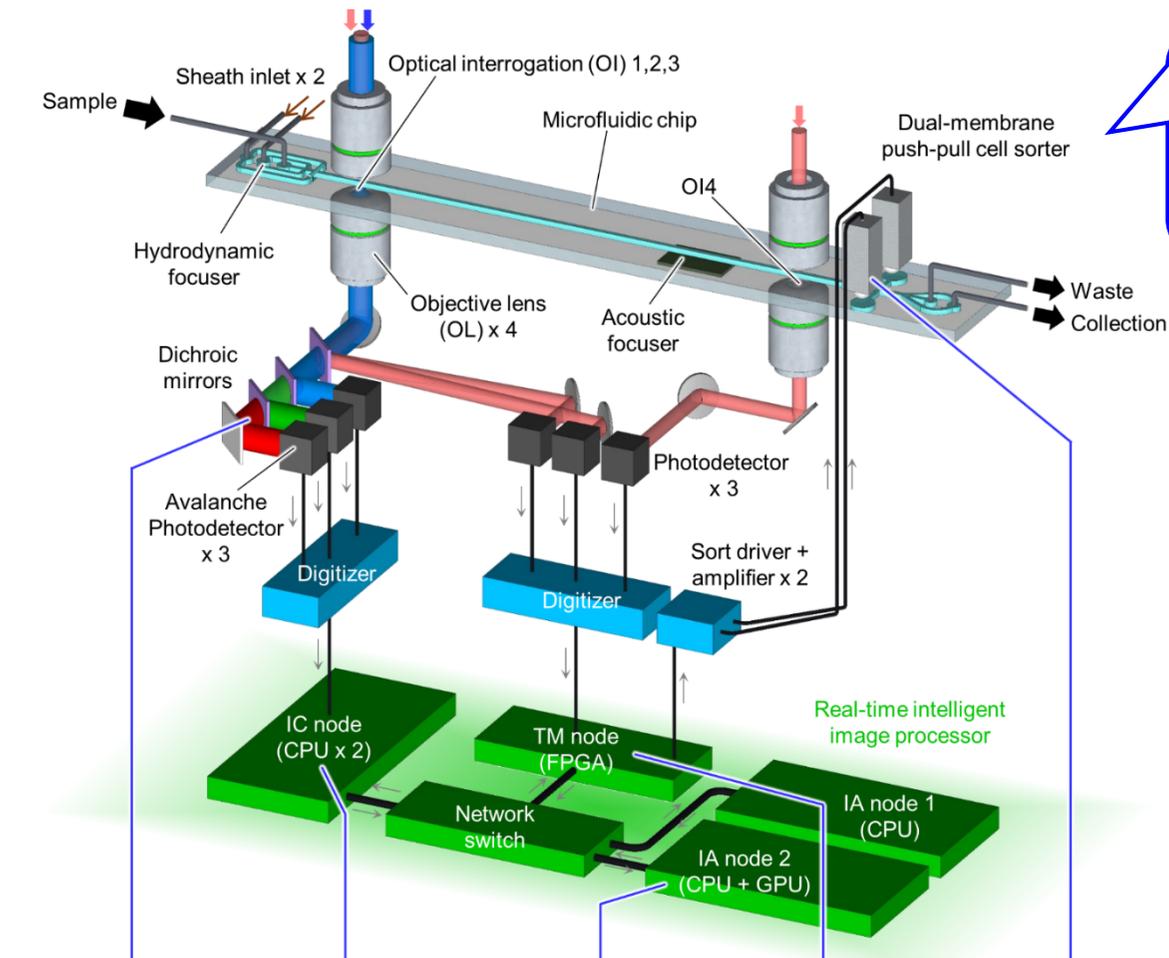
Intelligent Image-Activated Cell Sorterの概要



- 多種多様な細胞集団に含まれる一つ一つの細胞を高速に撮像し、深層学習など最先端の情報処理技術でそれらの画像をリアルタイムに判別して、**特定の細胞を選抜する基盤技術**。
- 細胞生物学、遺伝学、免疫学、病理学、微生物学、再生医学、薬学、医療などに利用可能な**汎用性の高い発見マシン**。
- これまでは膨大な時間や手間がかかっていた作業が究極的に効率化。
→ **セレンディピティ（偶然の幸運な発見）を計画的に創出**することが可能。



Intelligent Image-Activated Cell Sorterの構成



光量子技術、マイクロ流体技術、電子工学技術、機械工学技術、深層学習、通信技術などを融合

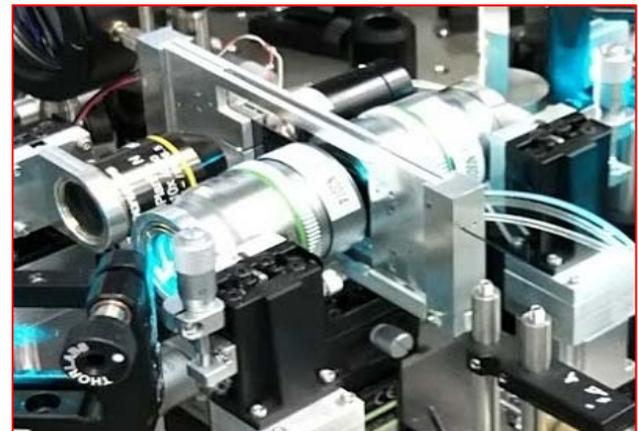
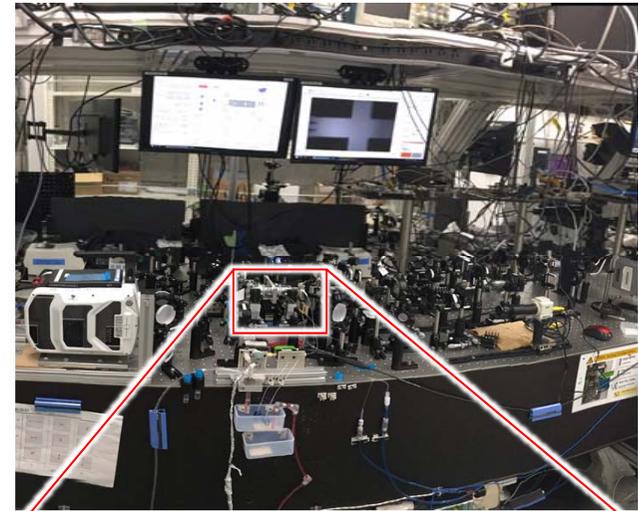


Image detection	Image construction (IC)	Image analysis (IA)	Time management (TM) and sort triggering	Sorting
FDM microscope OI2 OI1 OI3 Speed meter BF FL1 FL2	Waveforms Images	Merged image Sort decision Unsort Sort	Trigger Predicted latency	Actuation



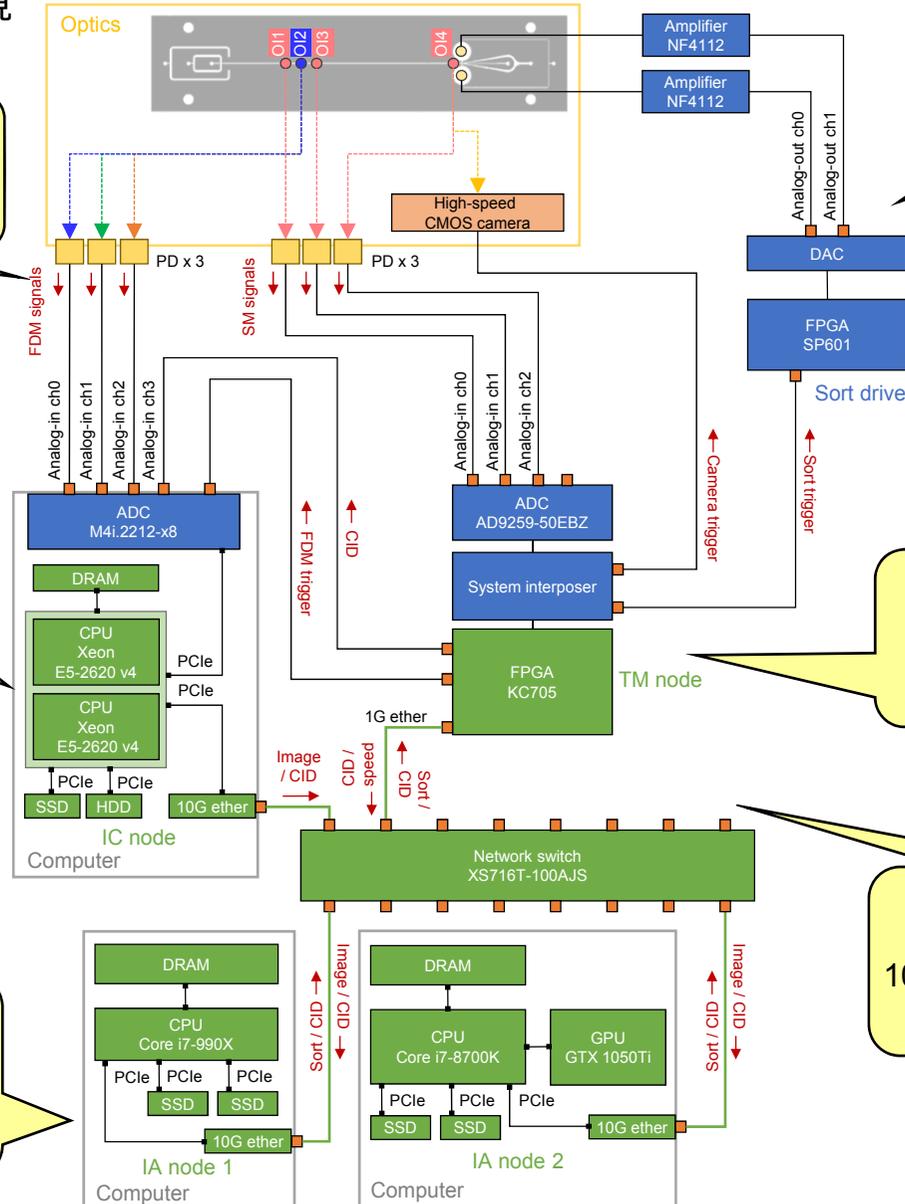
Real-Time Intelligent Image Processor部分

速度計測系の信号によりFPGAでリアルタイム制御する信号処理系を統合時に追加し、イメージングと深層学習による細胞同定の融合を実現

画像・速度計測センサー
イメージング (3CH) と
速度計測 (3CH)

IC node: 画像取得
蛍光イメージング画像取得

IA node: 画像解析
CNN (Convolutional neural network) のリアルタイム実行



ソートドライバー
ソート信号生成と出力

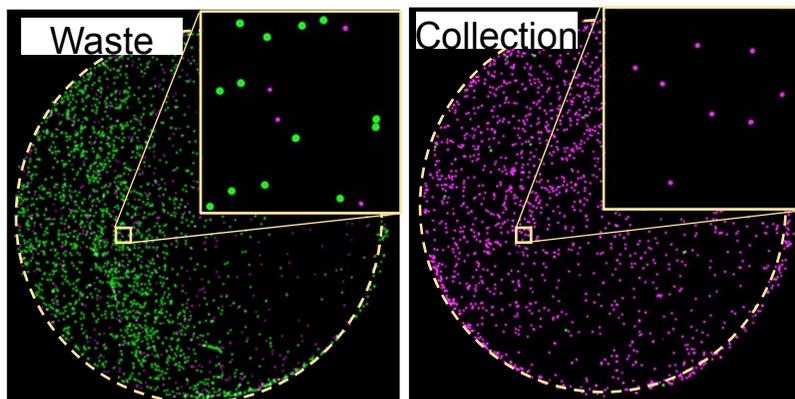
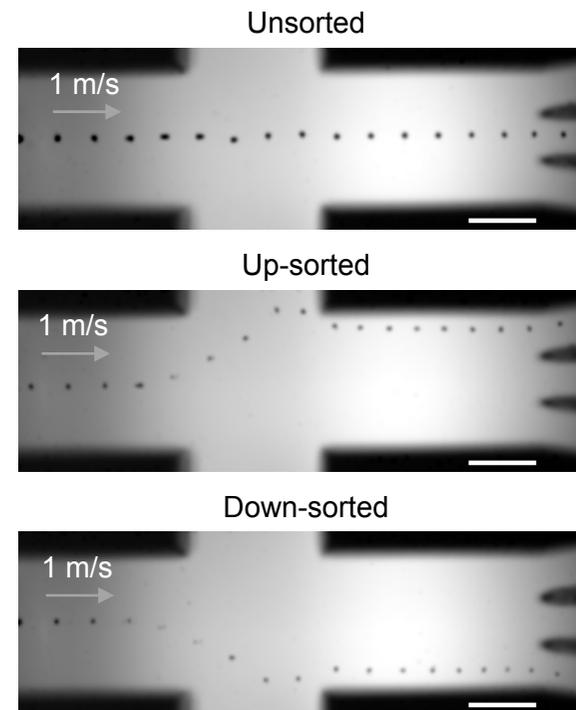
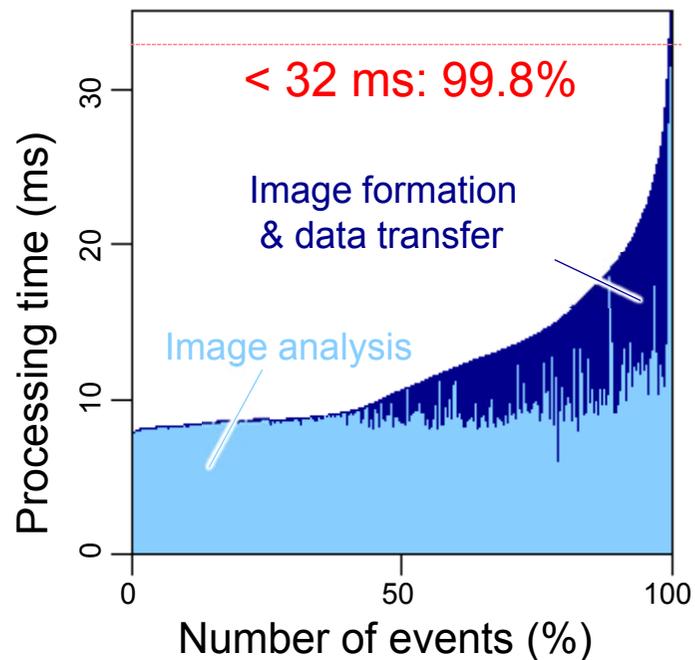
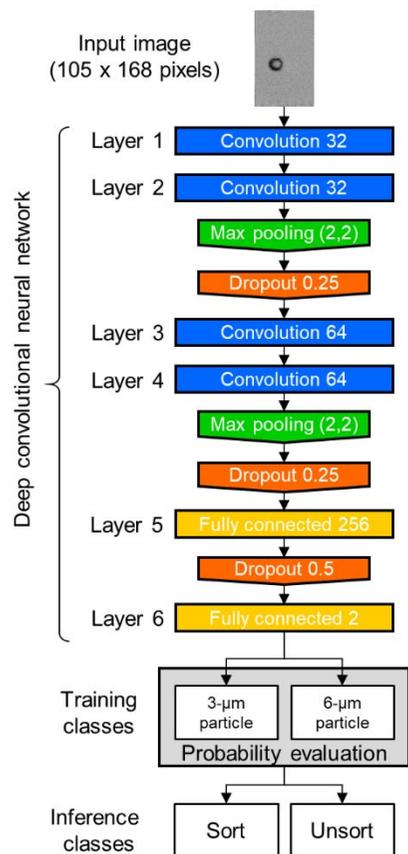
TM node: タイミング制御
リアルタイム制御
32ms以内でDecision Making

10G all-IP network
10GbpsのIP (Internet Protocol)
上でIoTの実装



蛍光ビーズによる分取性能評価

制限時間内に安定して分取が出来ることを確認

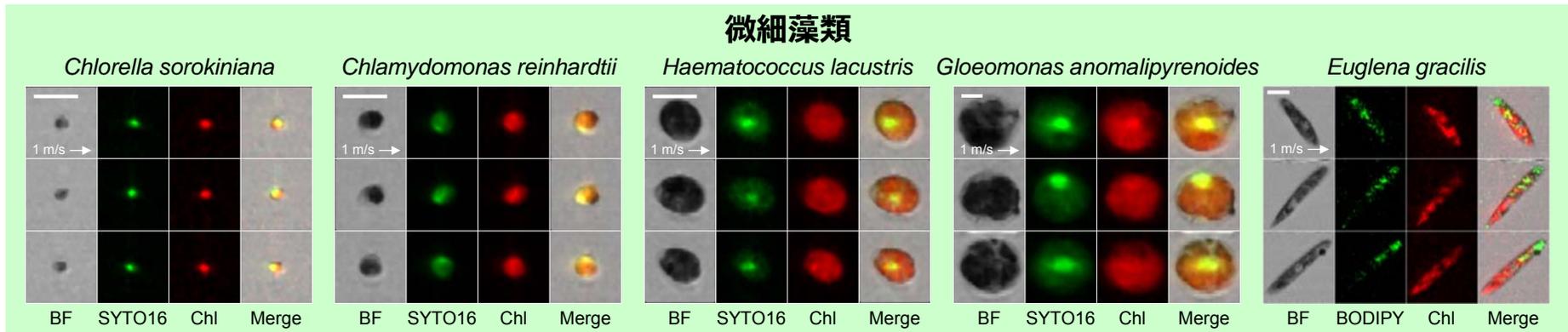


パラメーター	値
スループット	約100 events/s
分取精度	約99 %

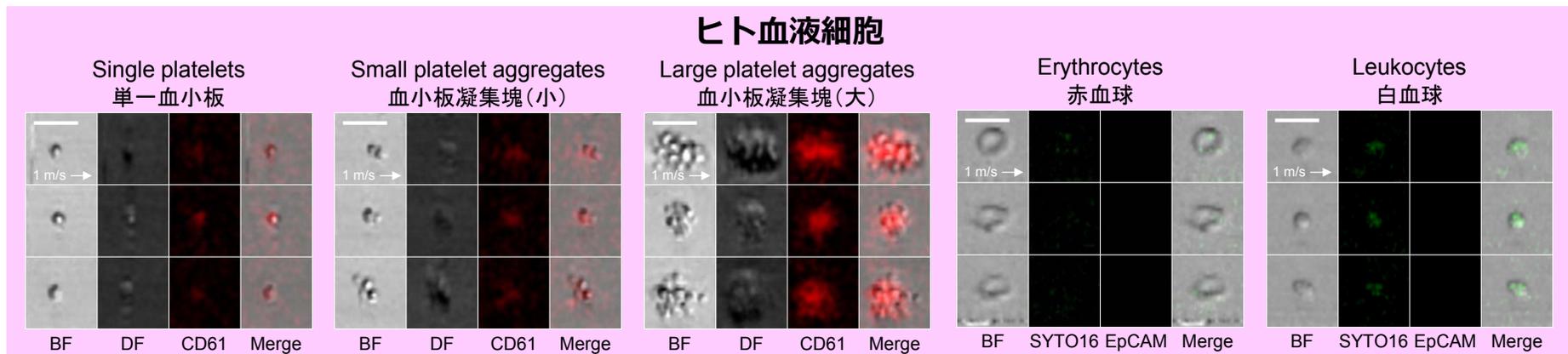


多種多様な細胞による汎用性の確認

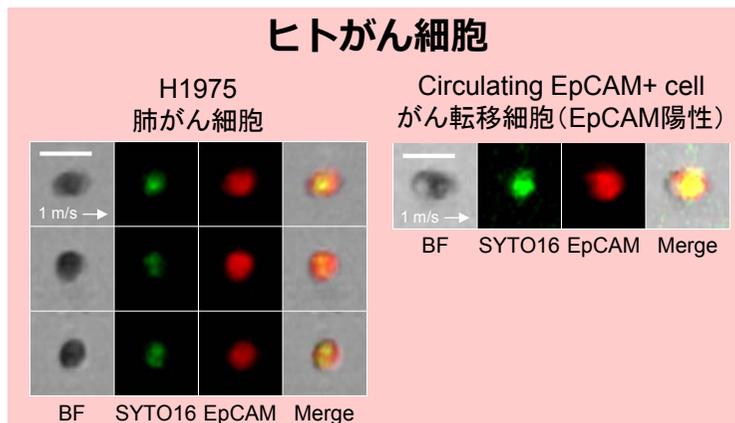
微細藻類



ヒト血液細胞



ヒトがん細胞



Scale bar: 10 μ m

- 高速流体中の多種多様な細胞（微細藻類からヒト細胞まで、3 μ mから30 μ mの大きさまで）の自動撮像に成功
- 非常に希少な細胞の検出にも成功



Intelligent Image-Activated Cell Sorterの性能指数

得られる細胞情報のイメージ
(高精度だが低速な計測)



得られる情報

- ・表面抗原
- ・組成 (転写因子の局在など)
- ・構造 (核形状、細胞骨格など)
- ・形態 (大きさ、形状など)
- ・細胞凝集



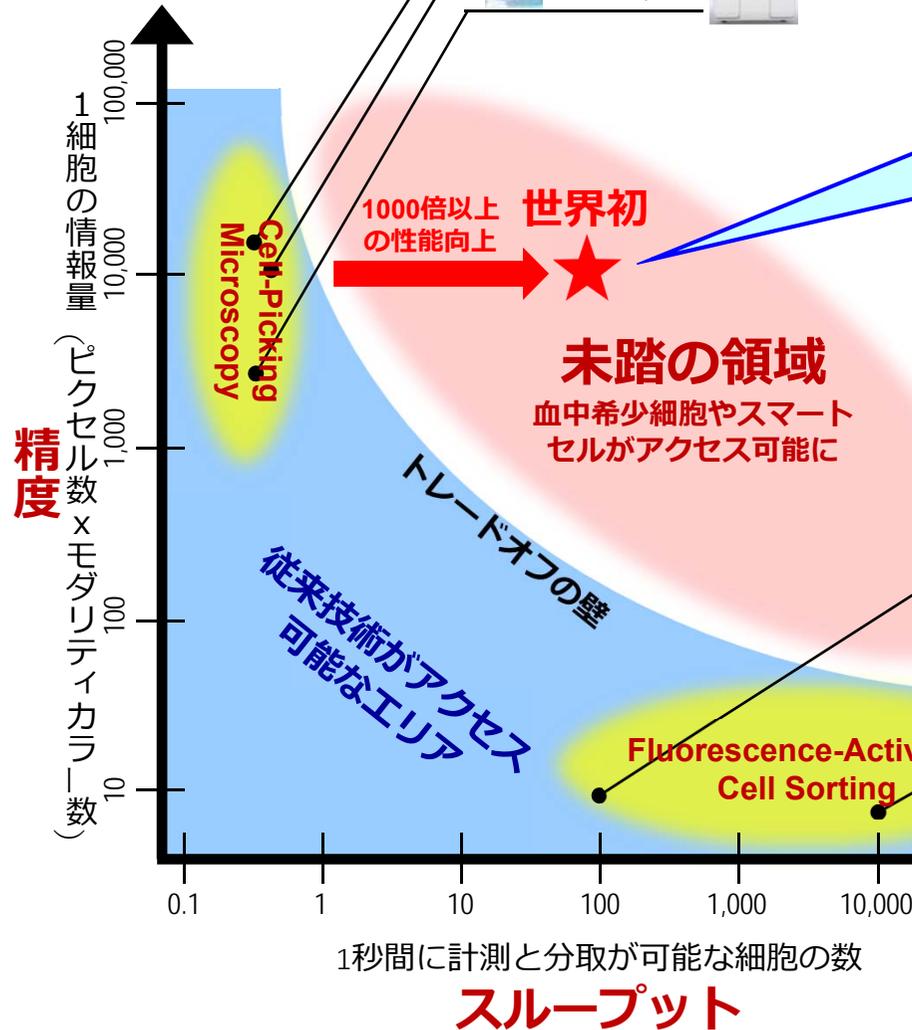
PicoPipet



AS ONE AS OneCell



DEParray



On-chip Sort



MoFlo Astrios



SONY SH800



BD FACSARIA III



BIO-RAD S3e



得られる情報
・表面抗原
・組成 (転写因子の存在)

得られる細胞情報のイメージ
(高速だが荒い計測)



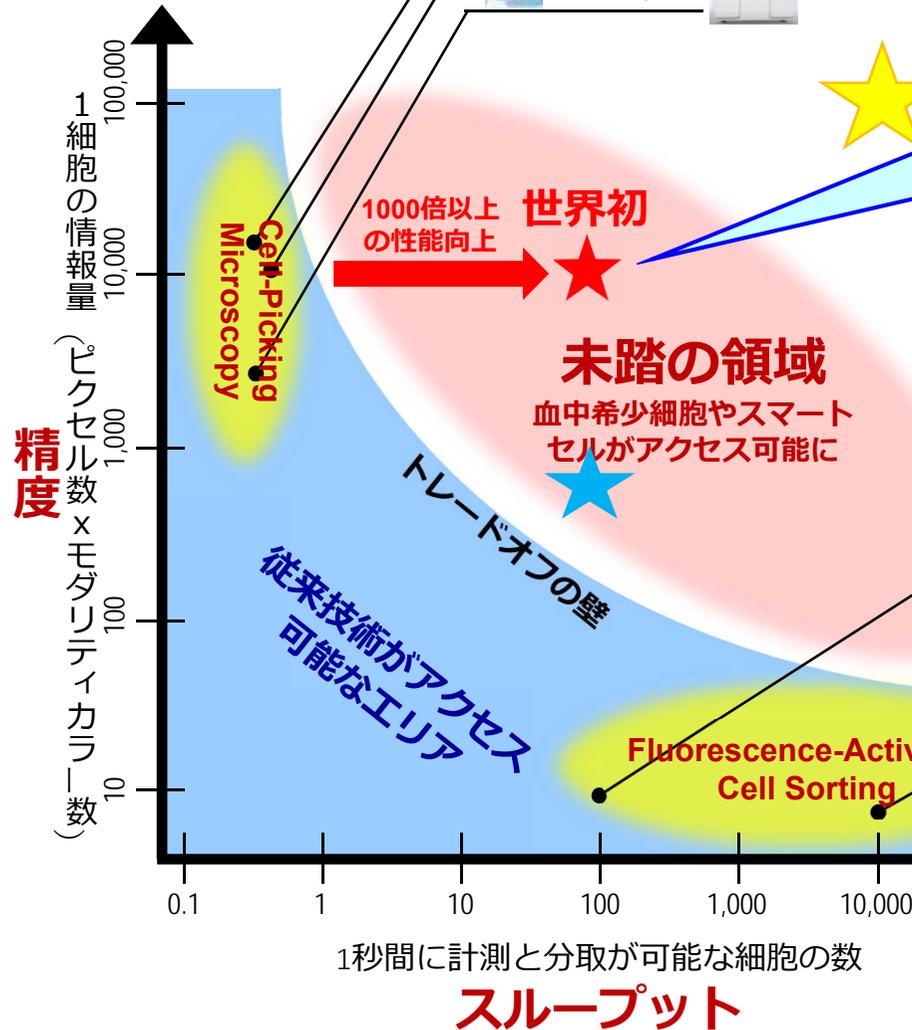
Intelligent Image-Activated Cell Sorterの性能指数

得られる細胞情報のイメージ
(高精度だが低速な計測)

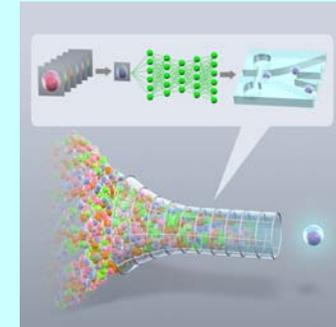


得られる情報

- ・表面抗原
- ・組成 (転写因子の局在など)
- ・構造 (核形状、細胞骨格など)
- ・形態 (大きさ、形状など)
- ・細胞凝集



Intelligent IACS



On-chip Sort



MoFlo Astrios



SH800



FACSARIA III



S3e



得られる情報
・表面抗原
・組成 (転写因子の存在)

得られる細胞情報のイメージ
(高速だが荒い計測)

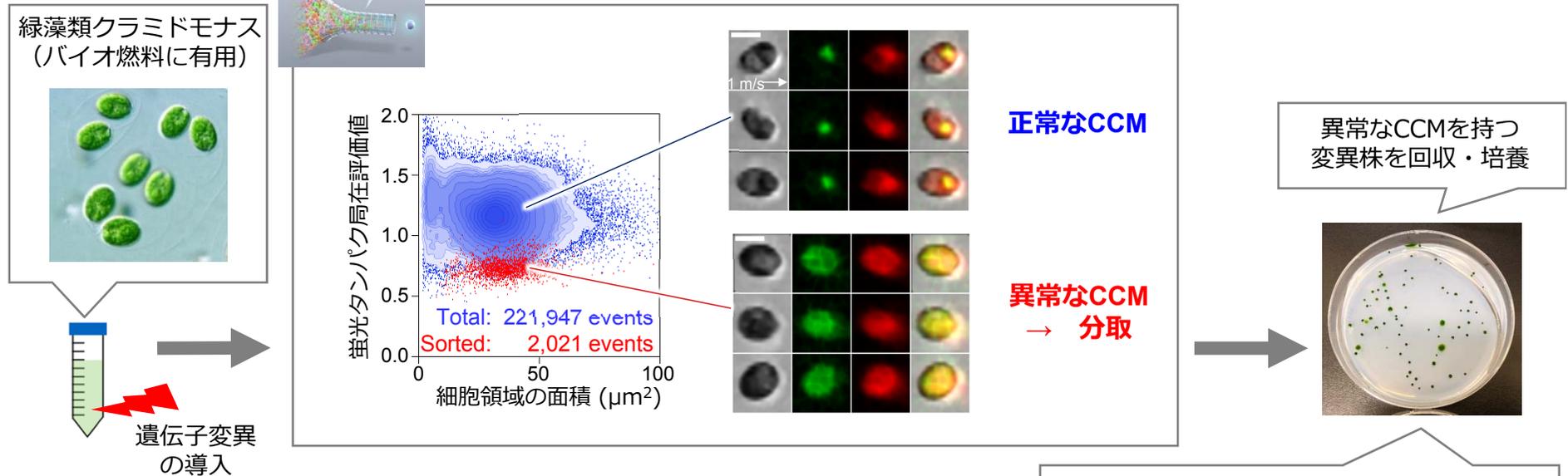


応用展開

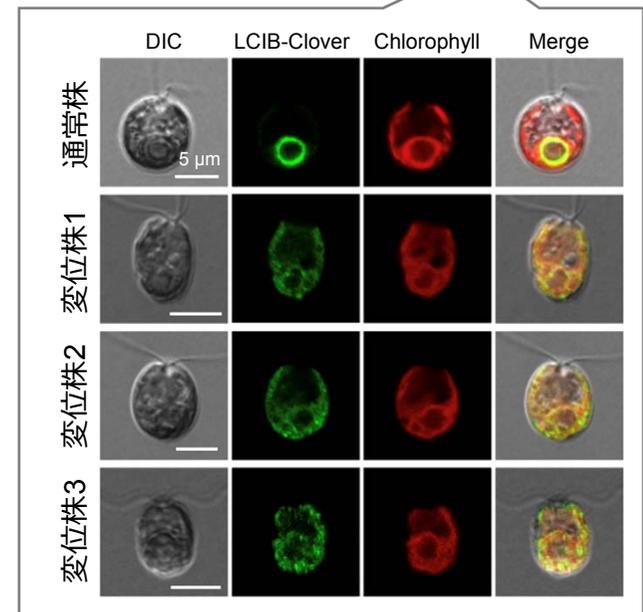


緑藻類クラミドモナスを用いた微生物学への展開

Intelligent Image-Activated Cell Sorter を使った選抜



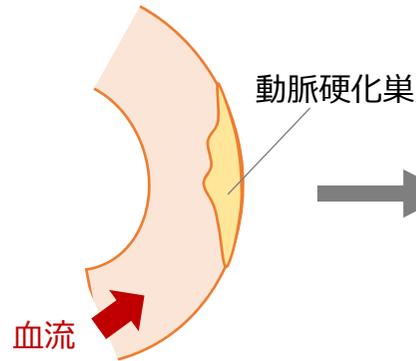
- 20万個以上の緑藻類クラミドモナスの中に1%程度含まれる希少な遺伝子変異を引き起こした細胞を分取・培養することに成功し、分取装置としての**実用性と有効性を実証**。
- 従来の手作業で**半年間**かかる作業を**40分間**で実施（6500倍高速）。
- 微生物学研究、農学研究、バイオ燃料研究、地球温暖化防止研究を**飛躍的に効率化**。





血液細胞を用いた医学への展開

アテローム性動脈硬化



アテローム血栓症



新規の病態評価・治療モニタリング



巨大な市場規模

血液中に含まれる
血小板凝集塊を解析

アテローム血栓症の診断・治療モニタリング技術が望まれている

より良いアテローム血栓症診療
を通じた国民病の克服



東京大学医学部附属病院
矢富裕 教授

- 血小板凝集塊は**心筋梗塞や脳梗塞を含むアテローム血栓症**に関連するバイオマーカーとして期待されており、その高精度な定量や詳細解析はアテローム血栓症の**診断・治療モニタリング技術**の開発につながる可能性があります。

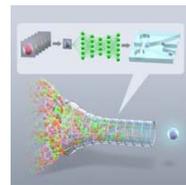


東京大学医学部附属病院
安本 篤史 助教

- アテローム血栓症診療を通じた**国民病の克服**および**医療費削減**に寄与したいと考えています。



血液細胞を用いた医学への展開

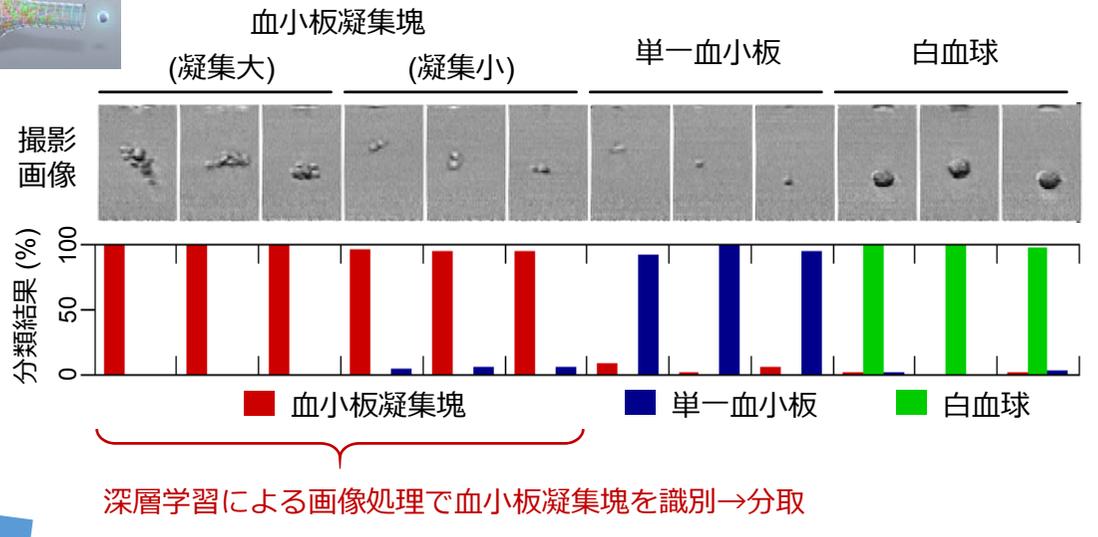


Intelligent Image-Activated Cell Sorterを使った分離

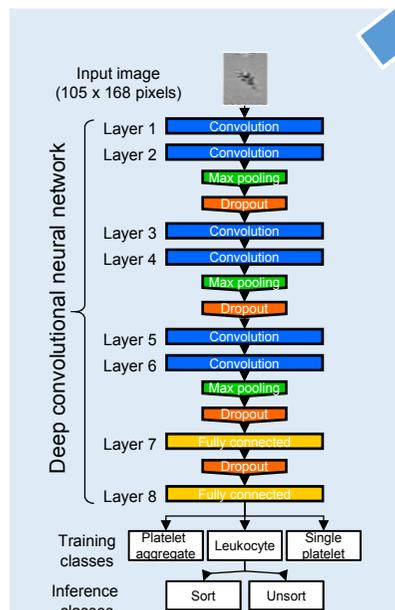
採血



血小板凝集塊を識別する深層学習アルゴリズムを構築



解析



- 本研究では細胞画像の解析に深層学習を応用することで、血液に含まれる血小板凝集塊を単一血小板や白血球などから高精度に識別し、さらにその識別をリアルタイムで行うことで**血小板凝集塊を分取・濃縮**することに成功。
- 従来の手作業では**1日間**かかる作業を**1分間**で実施（1400倍高速）。
- 分取したサンプルのオミックス解析などを通じて**病態生理の解明**が進むと期待。



今後の展開



今後の展開

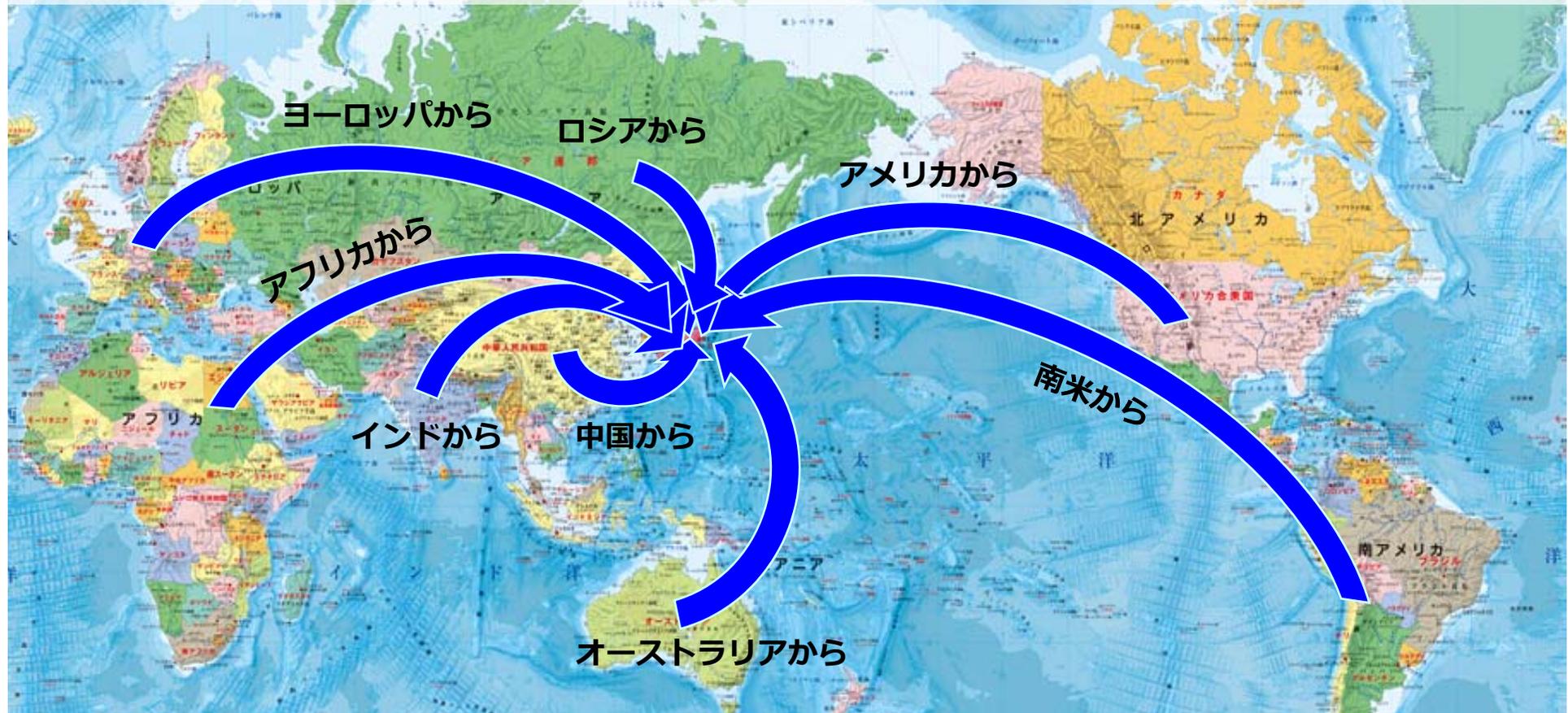


- 開発した装置のオープン利用とベンチャー事業化を進めており、本基盤技術の活用が広く進むことで、幅広い分野の基礎科学の発展やバイオ産業、医療などの発展に貢献したい。
- 人工知能（深層学習）によるノーベル賞級の科学的発見を頻発したい。



オープン利用 @ Serendipity Lab

Serendipity (幸運な大発見) はSerendipity Lab @ 東大で!

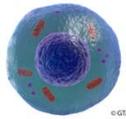


- 国内国外の大学、研究所、企業の研究者からアイディアや細胞サンプルを受け入れ、共同でセレンディピティを引き起こす。
- 世界トップクラスの研究成果、知的財産創出、SDGsへの貢献、グローバルリーダーの育成、グローバルベンチャー起業による社会連携・雇用創出などの成果を期待。



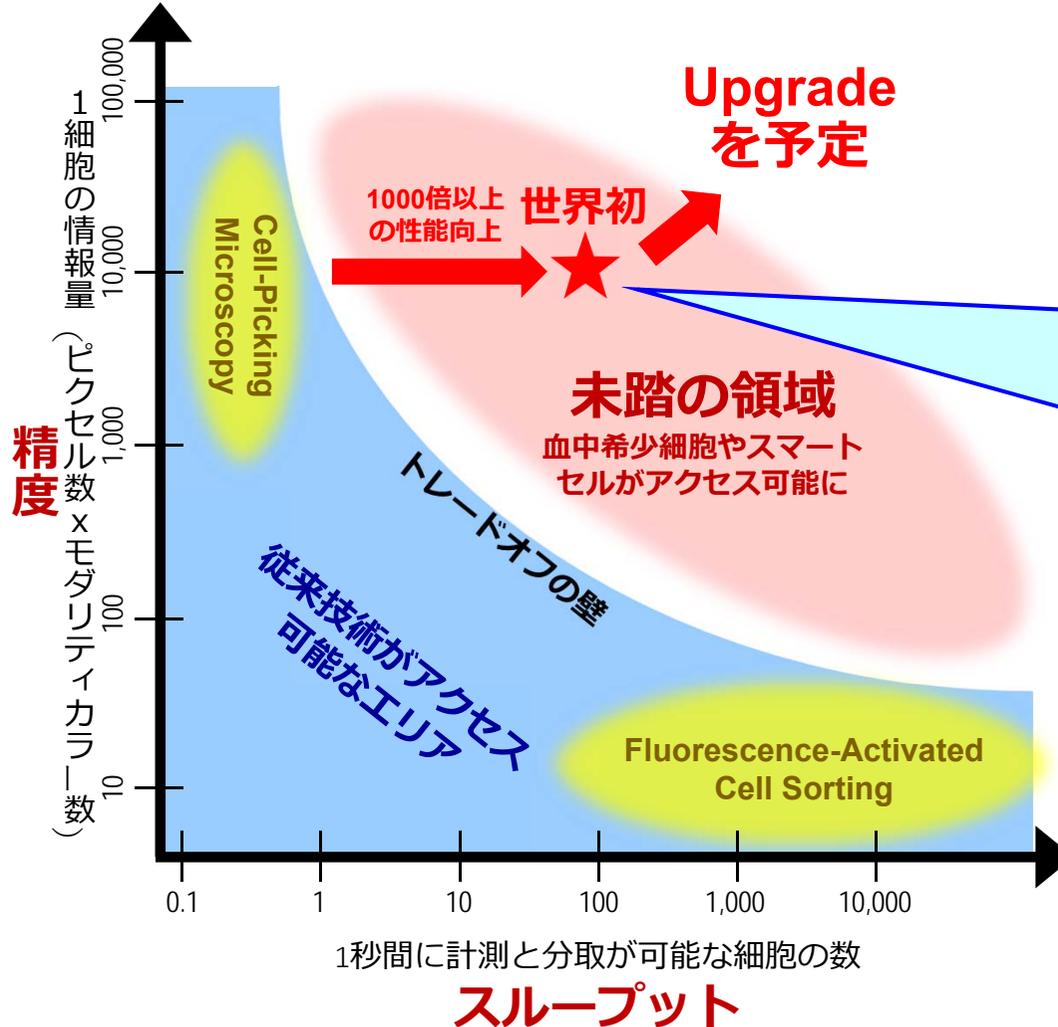
今後の技術開発

得られる細胞情報のイメージ
(高精度だが低速な計測)



得られる情報

- ・表面抗原
- ・組成 (転写因子の局在など)
- ・構造 (核形状、細胞骨格など)
- ・形態 (大きさ、形状など)
- ・細胞凝集



Intelligent IACS

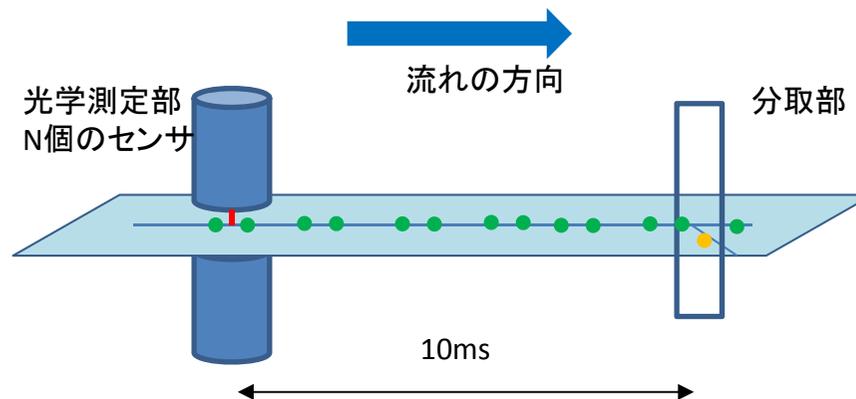
得られる細胞情報のイメージ
(高速だが荒い計測)

得られる情報

- ・表面抗原
- ・組成 (転写因子の存在)

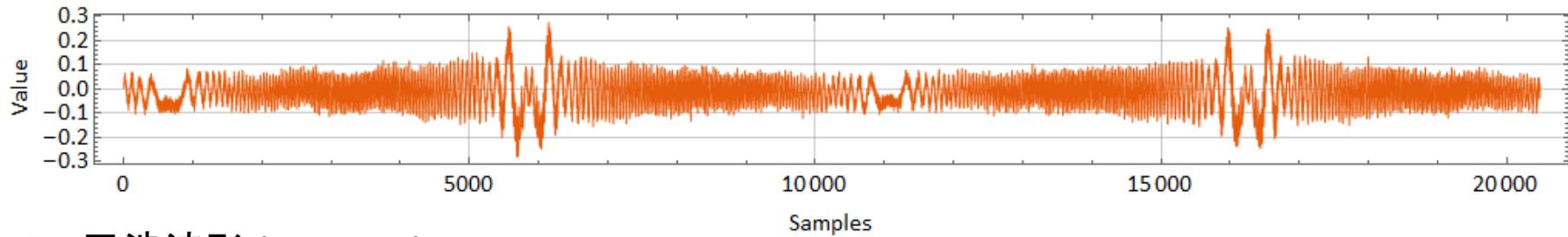
技術的困難点

- 光学・流路光学・生物系と並行開発で仕様が固まらない。柔軟性・拡張性が必須
- 私達には10msしか使える時間が無い
- 目標スループットが10000細胞/秒
- 測定系の次元数が判らない

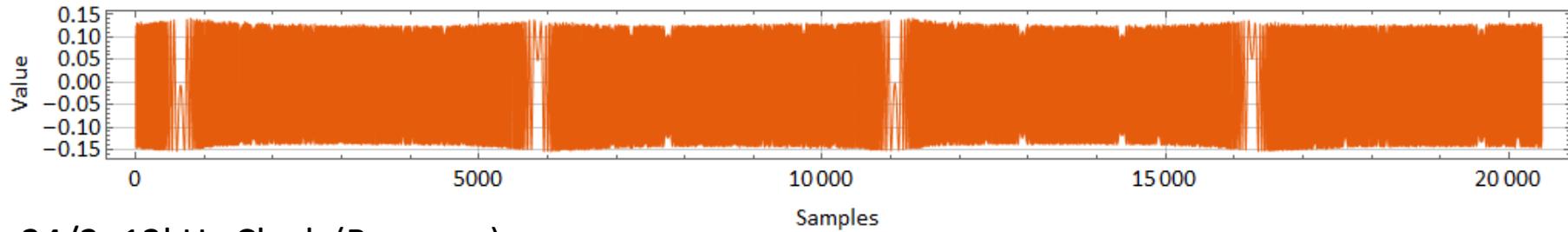


Ramanデータ

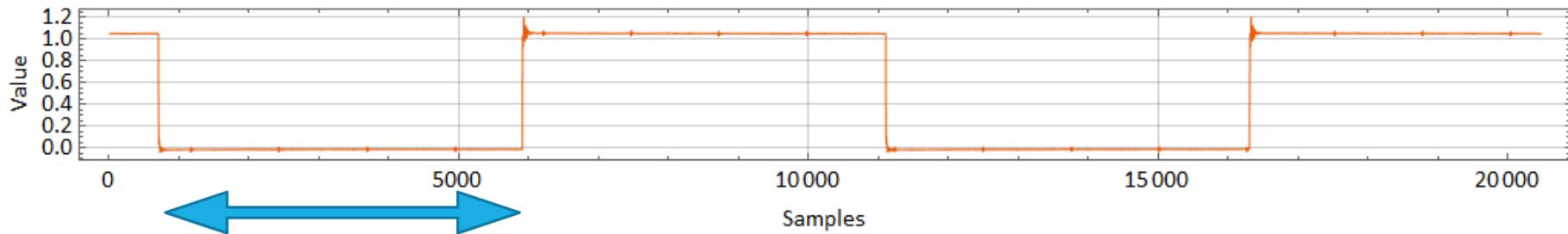
Pulse (Benzene)



CW干渉波形 (Benzene)



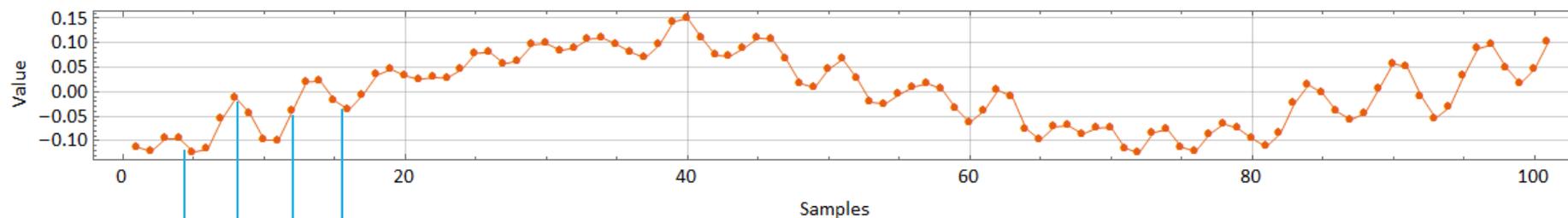
24/2=12kHz Clock (Benzene)



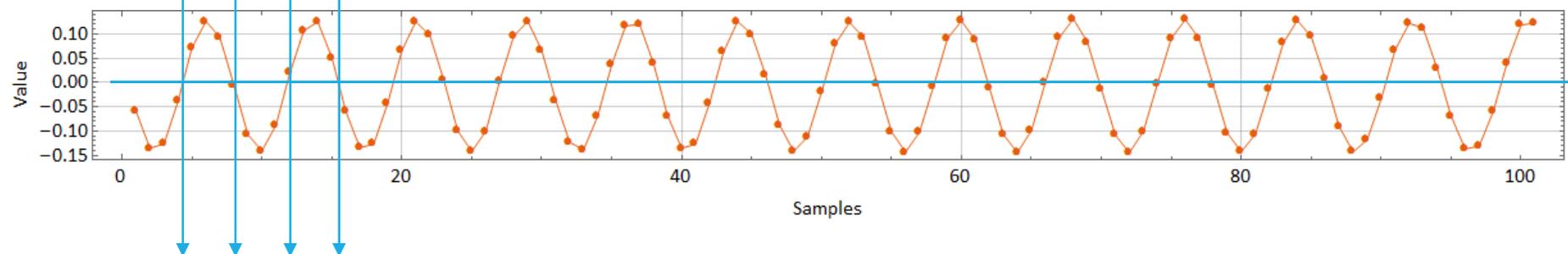
41.66 usec = 1スペクトル

リサンプリング処理(時間軸補正)

Pulse (Benzene) 拡大図



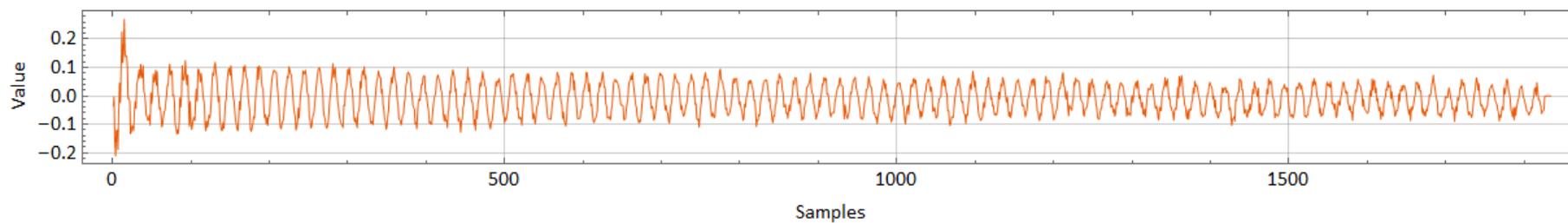
CW干渉波形 (Benzene) 拡大図



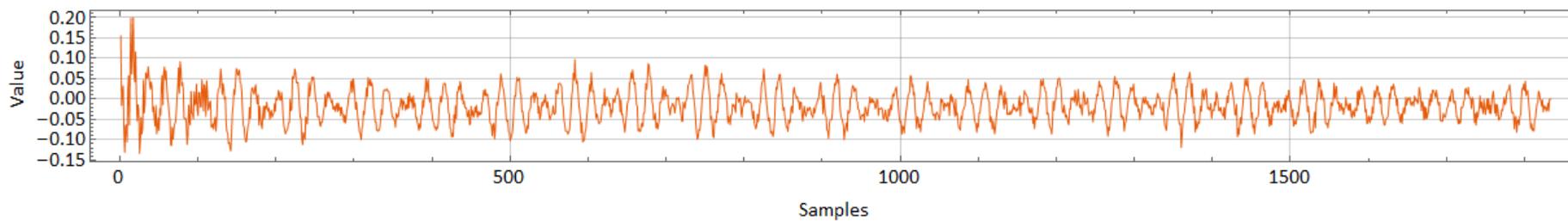
リサンプリング処理後

41.66 usec = 1スペクトル

Benzene

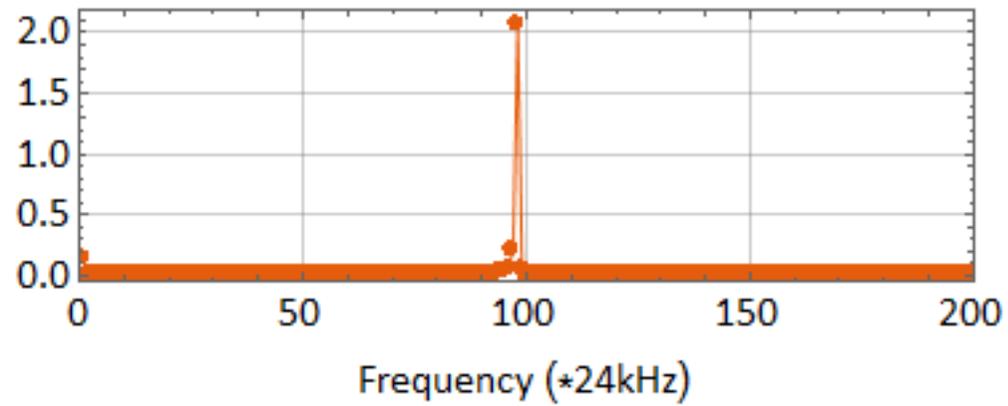


Toluene

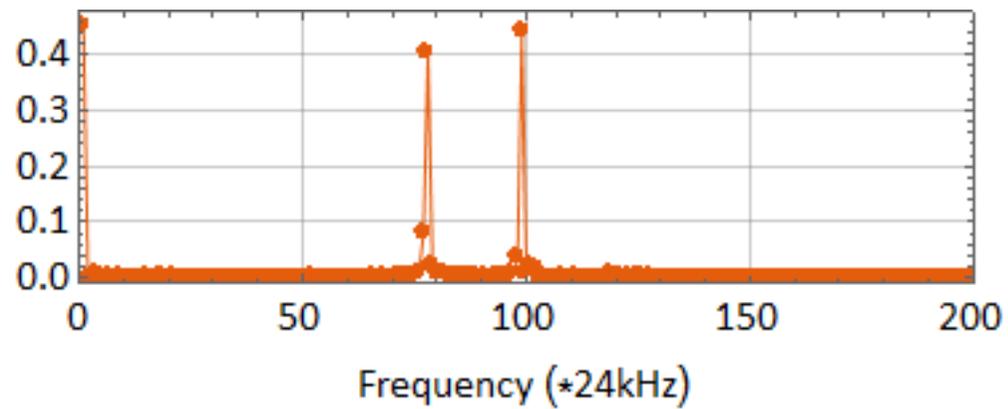


FFT処理後

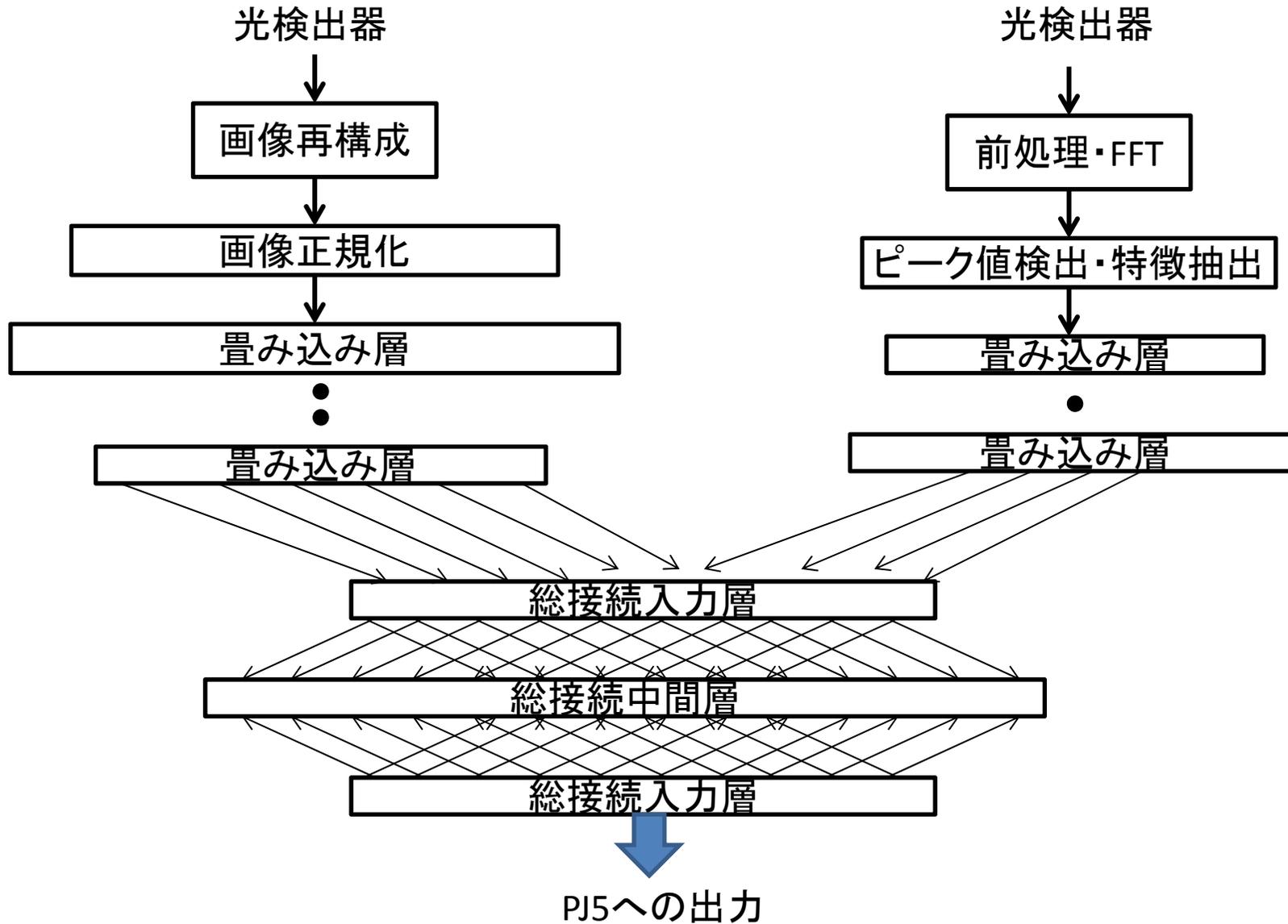
Benzene



Toluene



蛍光計測とラマン計測を使った同定(例)



技術的解決策

- 光学・流路光学・生物系と並行開発で仕様が固まらない。柔軟性・拡張性が必須
 - FPGA＋ALL IP architectureの基本設計
- 私達には10msしか使える時間が無い
 - 大部分をFPGA化することによるOSジッタの追放
- 目標スループットが10000細胞/秒
 - 超高速ネットワークによる分散処理(100Gbps, 10Gbps)
- 測定系の次元数が判らない
 - GPUを用いたCNN処理との分散処理

雑感と反省

- このプロジェクトには最強の布陣で取り組んだ
 - 世界トップレベルのFPGA設計者
 - 世界トップレベルのネットワーク研究者
 - 世界トップレベルのシステムソフト開発者
 - 世界トップレベルではないが、システムアーキテクチャ設計者(私)
- 紆余曲折はあったが、とも角システムは設計通り動いた
 - プロジェクト全体進行を、情報屋が足を引っ張ることはなかった
 - プロジェクトスケジュールの遅れを明確化し、ともかく成果を出した
 - おかげで光学系のメンバーとつねにぎくしゃくしていた
- 私達もいわゆるCNSに連名論文がでた
 - 今後更に多数CNSに出ることが予想される
 - が、CSの人にはCNSはちっとも嬉しくない

雑感と反省2

- 異分野とのコラボは重要かつ面白い
 - 情報科学の新しい応用分野は面白い
 - 極限を行く仕様を解決し実現するのは面白い
- 提案の重みが分野により違うことは困った
 - 目標性能が桁のオーダーで後退する
 - スケジュール線表が守られない
- 情報システムは動かしてなんぼなので、冒険が出来ない
 - 情報分野での一流論文が書けない
 - どうしても全体のお手伝いさんになる

雑感と反省3

- というわけで、異分野融合研究は、これ以上論文リストを延ばす圧力の少ないシニアな研究者がするとよい
 - プロジェクトからのお金で若い研究者の本業研究を促進する
- 今後、増えそうな異分野融合研究
 - フォトニクス・生物学との融合 ⇒ イメージング情報処理
 - CNN応用分野 ⇒ 自動運転、ロボティクス、地球科学
 - 量子コンピュータ
 -
 -
- それとは別に論文が書けるテーマを持ってないと、若手研究者にはきつい

質問！