

*Quantum Opto-Electronics  
Hayase Lab, KEIO Univ.*

# 量子光エレクトロニクス研究室 (早瀬研究室)

# 量子2.0～“量子”が最もエキサイティングな時代に！

科学として重要かつ面白い！

古典限界を超える革新的な技術が実現可能に！

“量子もつれ光子を用いたベルの不等式の破れの実験と量子情報科学の先駆的研究”

量子コヒーレンス（重ね合わせ状態）を活用

2022年 ノーベル物理学賞



III, Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach  
Alain Aspect



III, Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach  
John F. Clauser



III, Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach  
Anton Zeilinger

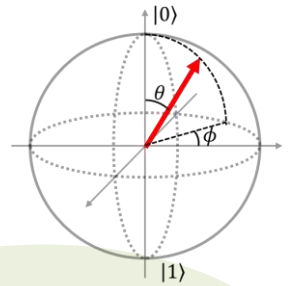
ノーベル財団HP

量子技術  
3つの柱

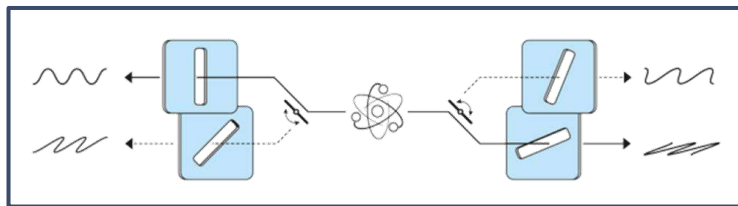
量子  
コンピュータ

量子センサ

量子通信



非線形光学  
効果を利用

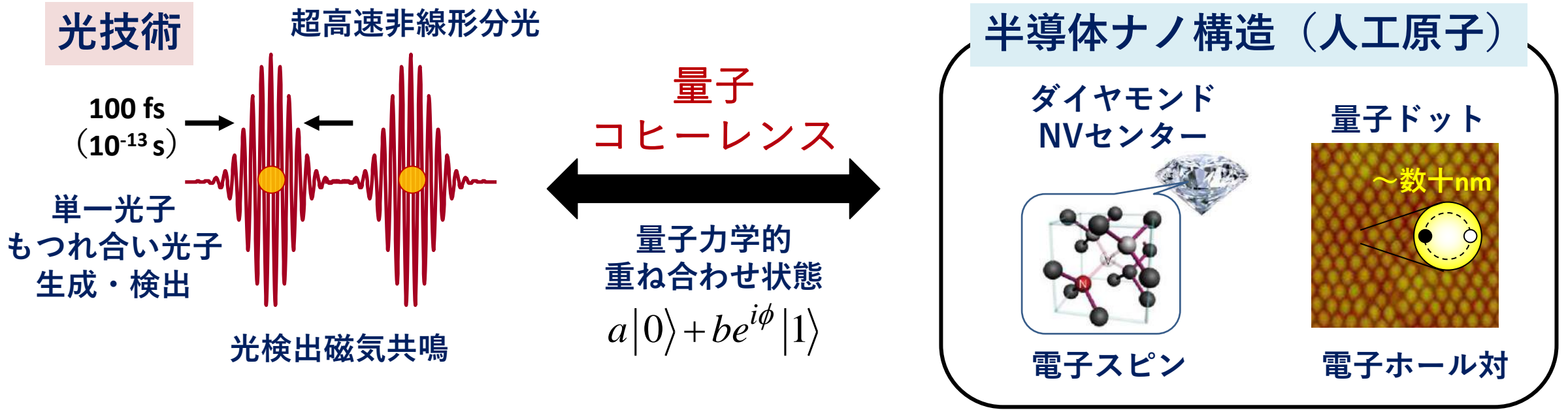


基礎学理  
基盤技術

量子力学 量子光学 非線形光学 情報科学  
材料・物性 エレクトロニクス  
フォトンクス スピントロニクス

✓ 量子状態（量子もつれや量子コヒーレンス）の制御技術が鍵

# 早瀬研の研究テーマ～量子光エレクトロニクス～



光子と電子の量子状態 (量子コヒーレンス) を制御

▶ 新しい量子物理の解明と革新的量子技術の開発

- ◆ ダイヤモンド NV センターを用いた量子センサ
- ◆ 超高速非線形分光と量子ドットを用いた量子フォトンクス

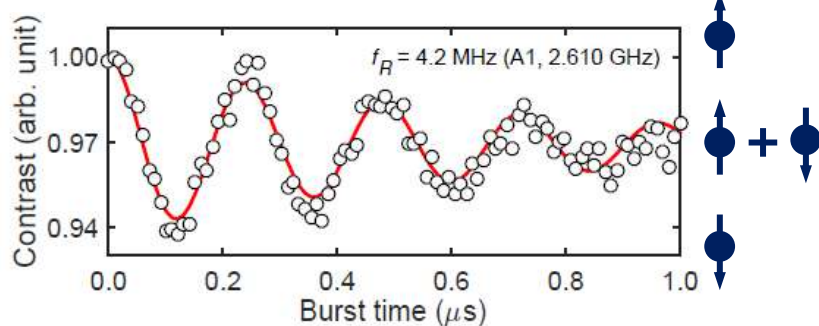
# ダイヤモンドNVセンターを用いた量子センサ

電子スピンの量子状態を用いて古典センサでは測れなかったものを測る

## ダイヤ量子センサとは？

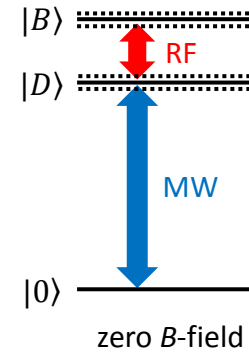
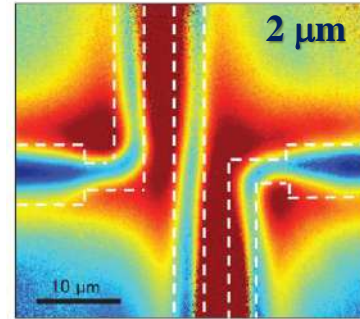


スピン重ね合わせ状態 (量子コヒーレンス) を制御・測定  
 超高感度・高空間分解能に磁場・電場・温度などセンシング



## 微細回路イメージング

## 企業と共同研究



- ・既存センサでは測定できないマイクロサイズの交流回路磁場を非接触に測定
- ・温度センサも開発中

新奇な量子状態 (光子をまとった電子スピン) を利用した早瀬研独自の量子プロトコルを開発

**Floquet理論**  
 時間並進対称性  $\hat{H}(t) = \hat{H}(t+T), T = 2\pi\omega_{RF}$  (2)  
 Shirleyの理論<sup>3</sup>: Schrödinger方程式は時間無依存の固有方程式に  $\sum_m [\hat{H}^{n-m} - n\omega_{RF}\delta_{m,n}\hat{1}] |\phi_\alpha^{(m)}\rangle = \epsilon_\alpha |\phi_\alpha^{(n)}\rangle$  (3)  
Floquet Hamiltonian (式(4)参照) 光子をn個放出した状態



共同研究者の理論家と密に議論しアイデア出し

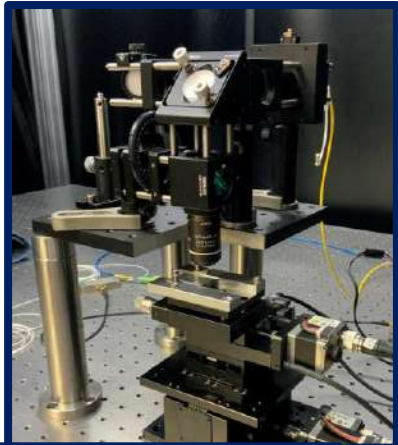
✓ 量子力学の基礎も応用もどちらも研究できます！



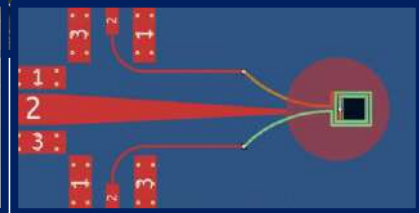
# ダイヤモンドNVセンターを用いた量子センサ

電子スピンの量子状態を用いて古典センサでは測れなかったものを測る

## 装置構築



- ・ 光学系設計
- ・ 高周波回路設計
- ・ アンテナ設計
- ・ プログラミング

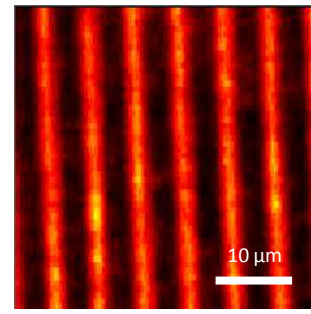
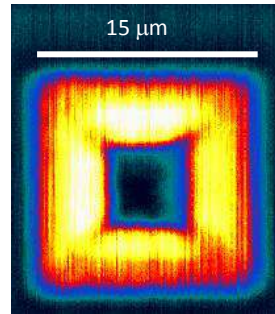


北陸先端科学技術大学院大学（プローブ顕微鏡の専門家）と共同研究

## サンプル作製



- ・ ダイヤ成長（同位体制御）
- ・ ダイヤ加工（位置・配向制御）
- ・ 物性物理

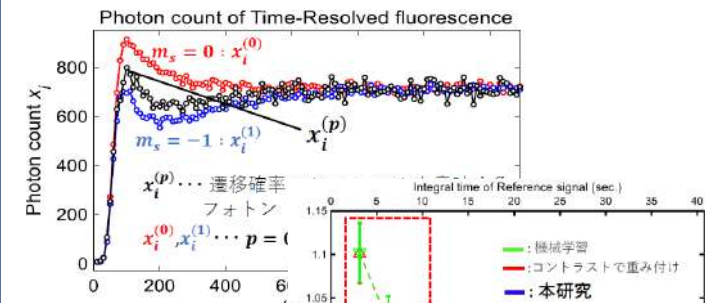


金沢大，産総研，物材機構（ダイヤモンド成長の第一人者）と共同研究

## 推定・モデリング

量子とインフォマティクスの融合分野の研究

- ・ スパースモデリング
- ・ 機械学習



東京大との共同研究

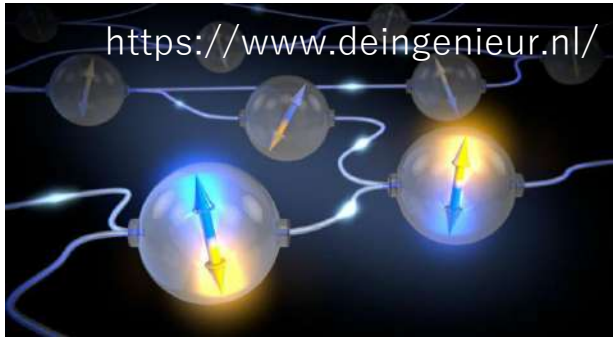
本研究は最小限の積算で（参照用データの積算回数）SNR比が向上

- ✓ 物情での学び（物性，制御，回路，信号処理，プログラミング）をフル活用
- ✓ 量子以外でも自分の興味に合わせたテーマ選定（情報や制御が好きな学生歓迎！）

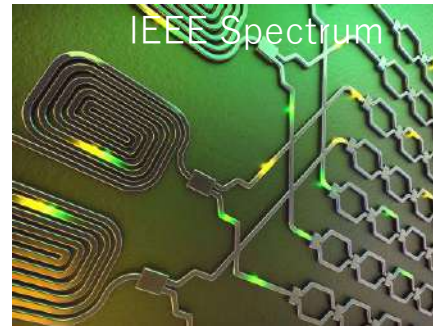
# 超高速非線形分光と量子ドットを用いた量子フォトンクス

光の量子性を制御して次世代の光量子技術を実現する

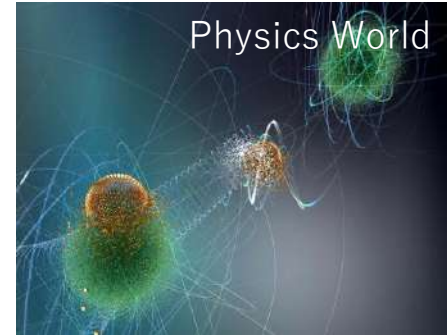
光の波動性 + 粒子性 (単一光子やもつれ合い光子) を活用



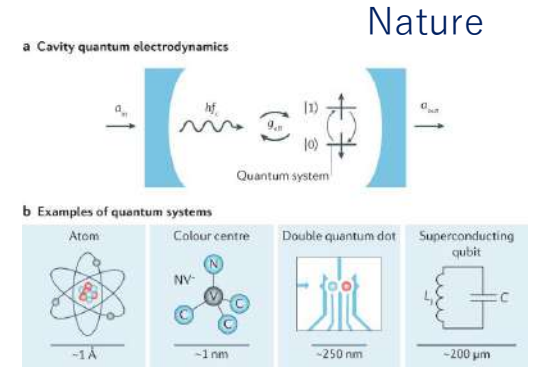
量子インターネット



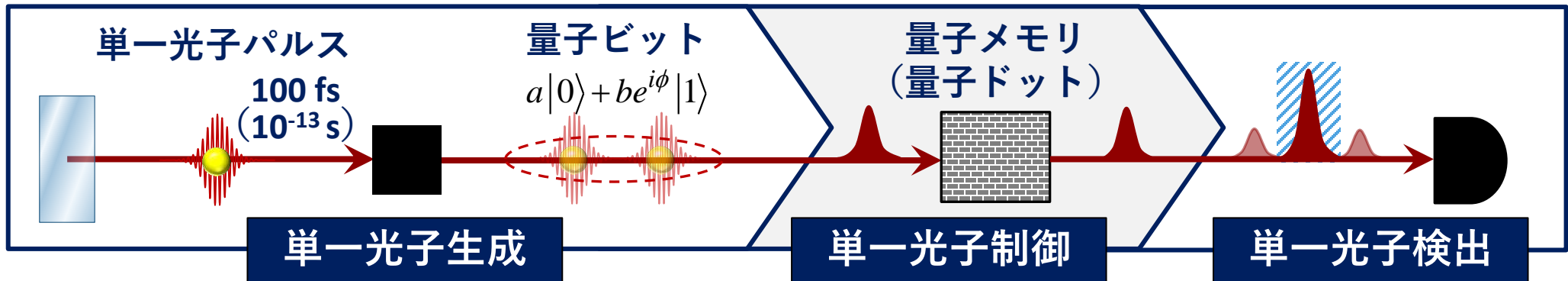
光量子コンピュータ



量子テレポーテーション



量子電磁力学

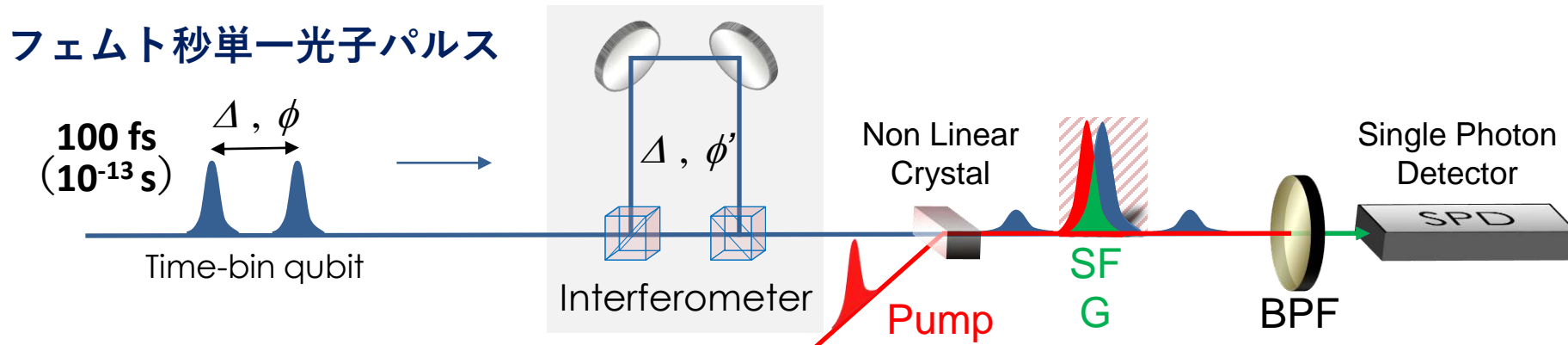


✓ 超高速 (フェムト秒) 領域の光子の生成・制御・検出技術の開発

# 超高速非線形分光と量子ドットを用いた量子フォトンクス

光の量子性を制御して次世代の光量子技術を実現する

超高速非線形分光による単一光子重ね合わせ状態（量子ビット）の生成・検出技術開発



2022年度卒論テーマ  
もつれ合い光子の  
生成・検出に関連

河内君 (M2)



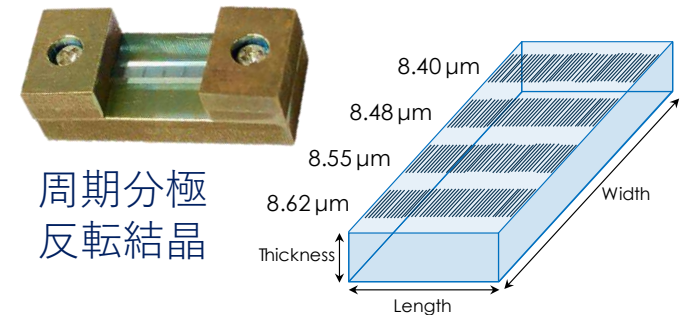
・光学実験の名手

- 🏆 優秀卒論賞
- 🏆 学会発表が注目発表に選出
- 🏆 NICT量子人材育成プログラムに採択 (研究費100万支給)
- 🏆 NTT海外研究所でのインターンシップ (2ヶ月)
- 🏆 学振 (博士学生の登竜門的資金制度) 採択

・光学系・  
プログラムを自作



・非線形光学結晶の設計



周期分極  
反転結晶

物材機構 (非線形光学結晶  
研究の第一人者) と共同研究

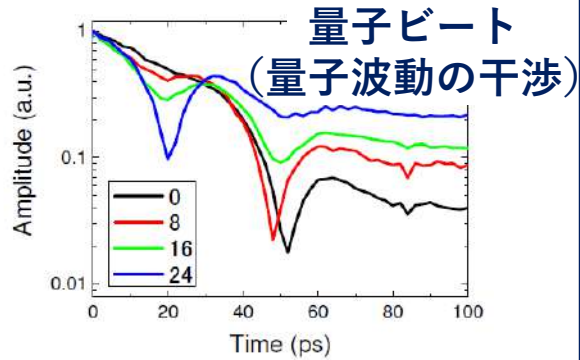
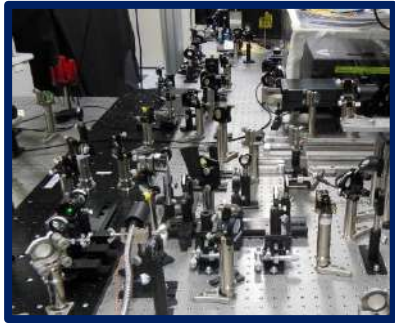
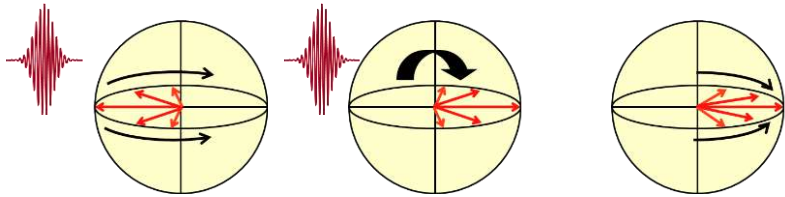


# 超高速非線形分光と量子ドットを用いた量子フォトンクス

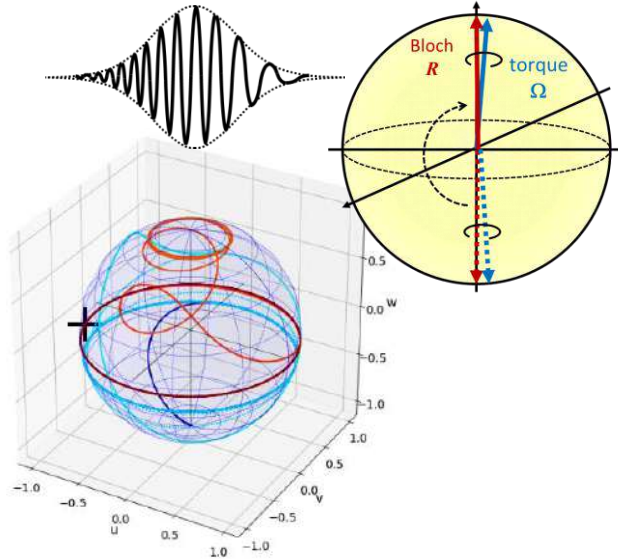
光の量子性を制御して次世代の光量子技術を実現する

超高速非線形分光による量子ドットの重ね合わせ状態（量子ビット）のフェムト秒コヒーレント制御

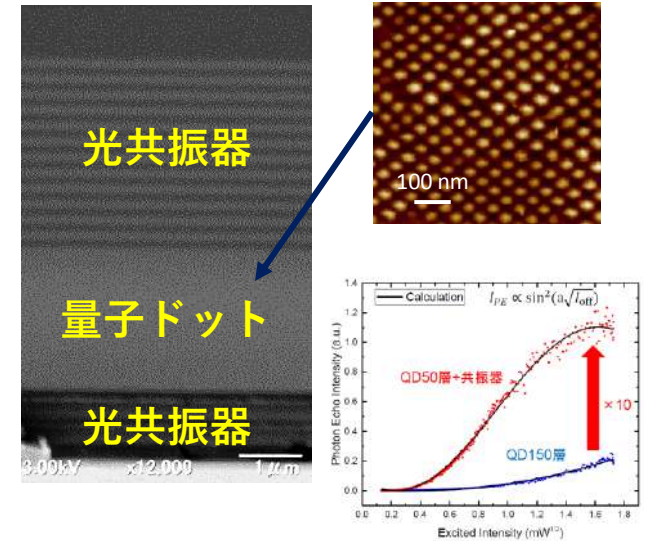
超電導量子コンピュータ（IBM Q）よりも4桁以上速い量子演算



- ・ フォトンエコー法による電子の重ね合わせ状態（量子波動）の直接観測・制御
- ・ 光量子メモリへの応用



- ・ フェムト秒チャープパルスを用いた量子状態制御



- ・ 共振器構造 + 量子ドットによる相互作用増強

✓ 超高速非線形分光 + 半導体ナノ構造で、  
光子と電子の量子状態をどこまで自在に操れるのか？



# 研究環境・設備，共同研究

最先端の研究装置が多数あり，かなり恵まれた研究環境です！共同研究も活発です！

## 研究設備（14-602, 32-103A&B）



- ・最先端設備が豊富！（フェムト秒レーザー2セット，NV用顕微鏡4セットなど）

- ・リモート実験も可。
- ・PCを1人1台支給。

実験室ビデオ：

<https://keio.box.com/s/ubhjk30p4unb6a75cv0yrpjfe0gdbx78>

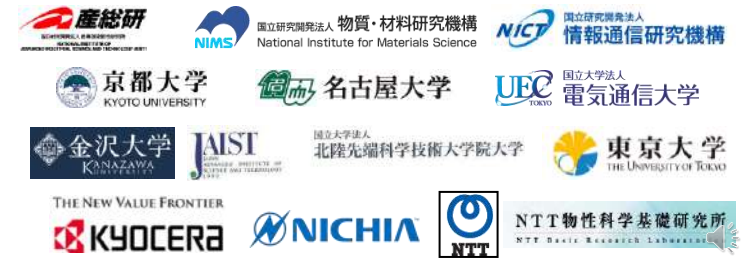
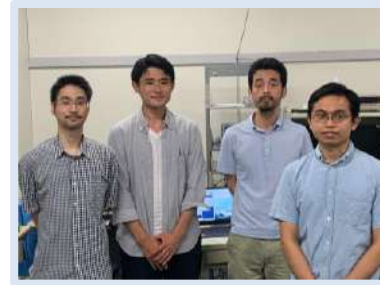
## 外部共用設備



- ・NIMS, NICT, 東大等で大型装置を使用可能。

- ・スタッフがメンテナンスや技術指導，初心者への教育が充実。

## 共同研究



- ・共同研究先で，一流の研究者と実験や議論することで成長。

## 研究室内コミュニケーション



- ・Slackで気軽にコミュニケーションを取れる環境。

- ・輪講やミーティングは対面。メンバー同士が早く打ち解ける環境。

# 研究成果発表

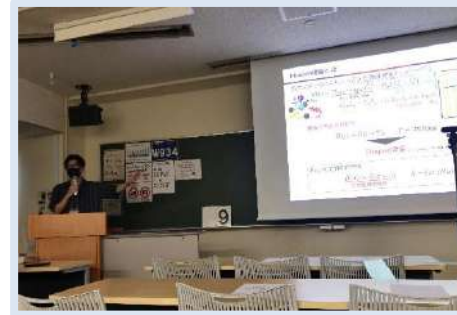
国内外の学会や学術論文に積極的に成果発表しています。頑張っている学生を全力で支援します！

## 国際会議発表



- ・ 修士のうちに1回以上は国際会議発表。
- ・ 費用は全額サポート。
- ・ 今年は札幌，ボストン，サンフランシスコ，ラスベガスへ！延べ9名発表。

## 国内学会発表



- ・ 応用物理学会，日本物理学会などに参加。修士は1年1回以上は発表。
- ・ 費用は全額サポート。今年は仙台，伊豆，沖縄へ！
- ・ 今年の秋～冬だけで修士7名，学部生4名が発表。

## 海外インターンシップ



- ・ アメリカ西海岸 NTT Physics&Informatics 研究所で短期インターンシップ。
- ・ 一流の研究所で量子の研究に従事。高額サポート。
- ・ 慶大から初の参加。

## 論文発表

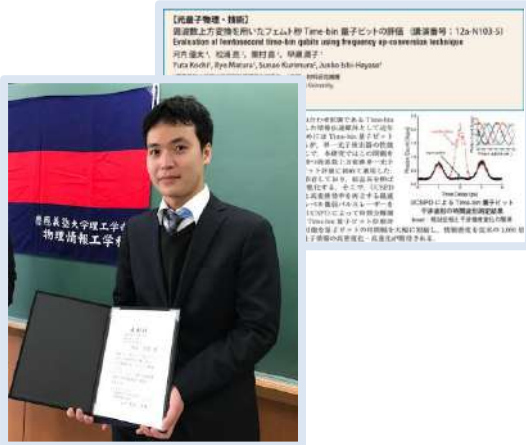


- ・ 国際学術論文への発表。

# 在籍学生，OB/OGの活躍

それぞれの個性に合わせた活躍の場を提供します。海外留学も積極的に支援します。

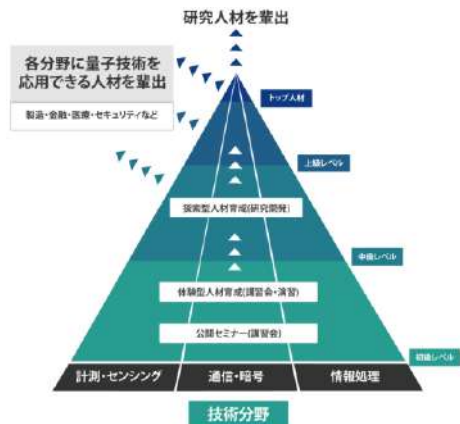
## 受賞



・2020年，2021年優秀卒論賞，2020年優秀修論賞など。過去受賞者も多数。

・応用物理学会フォトニクス分野注目発表（2021年秋）。

## 量子人材育成プログラム採択



・NICT Quantum Campに2年連続採択の快挙！

・100万/1名の研究費。学生としては異例の額！

・積極的に学びの場，有益情報を提供。

## OB/OGの就職・進路

・2022年就職・進学予定

学部⇒慶大修士（早瀬研）進学

修士⇒ソニー2，野村総研，東大博士，慶大博士

・海外院への進学や短期留学を積極的に支援！



### 遠藤君（2014年学部卒）

Oxford大で博士号取得。NTT研究所勤務。量子コンピュータ研究の若き先導者として，2021年度Innovators Under 35 Japan受賞！

### 五十川君（2022年学部卒）

MITに進学。NV研究の第一人者 Cappellaro研所属。Chicago大，Oxford大にも合格。

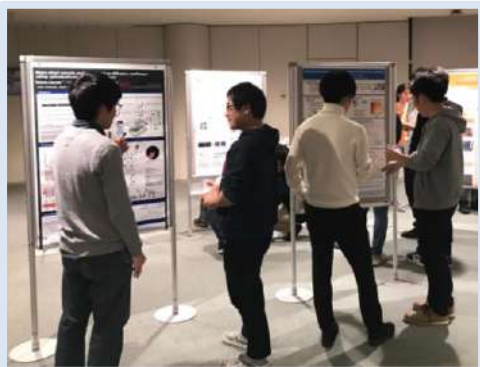




# 他大学・他研究室・OB/OGとの交流

“交流が人を育てる”をモットーに他大学・他研究室との交流の場を多く設けています

## 慶應光関連研究会



- ・ 慶應理工の光関連研究室が集まってポスター発表&ラボツアー。
- ・ 10年以上続いている伝統行事。参加研究室は10以上。
- ・ 学科を超えて交流。

## OB/OG会



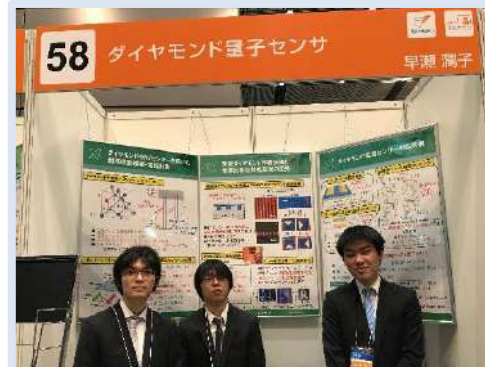
- ・ 年1回社会人の先輩から話を聞く貴重なチャンス（最近はオンライン開催）
- ・ 海外在学中のOBからの留学支援も。

## 他大・他研究室との交流



- ・ 理科大電通大との研究交流会を毎年開催。
- ・ 他大・他研究室への見学や交流会を積極的に開催。
- ・ コロナ前は合同お花見など研究以外の交流も。

## 慶應テクノモール出展



- ・ 毎年12月に開催される大規模な展示会にブース出展。
- ・ 今年は3年ぶりに国際フォーラムで対面開催。
- ・ 一般向けに成果アピール

# 早瀬研での研究活動

気さくで面倒見の良い学生が多いです。

## 週間スケジュール



- ・論文紹介と進捗報告輪講：週1回。
- ・グループミーティング：週1回。問題解決の糸口。
- ・コアタイムなし。

## 新人教育



- ・3～4月：新人研修期間。教科書輪講，実験技術とプレゼンの基礎の習得。
- ・大学院生メンターが親身に指導。
- ・プレゼンや要旨，卒論作成は丁寧に指導。

## オフもとことん楽しめます！



ボーリング大会



焼肉パーティ



国際会議バンケット



BBQパーティ

早瀬研の良さは初対面ではわからない？  
噛めば噛む程味が出る？楽しい仲間たちです！



# 早瀬研の仲間募集！一緒に楽しみましょう！



- ✓ 量子や光の実験に興味のある人  
(理論中心でもOK)
- ✓ 実験装置をイチから組みたい人  
(プログラミング・制御好き歓迎！)
- ✓ ナノテクや物性に興味のある人
- ✓ 量子と情報工学の融合分野に興味のある人

量子って難しい??

研究室に入ってから勉強すれば大丈夫です！  
未来を変える量子技術と一緒に作りませんか？

11/9・18 説明見学会

11/21・22 オープンラボ

来年度メンバー（予定）：  
博士…1名，修士…8名  
B4…5名



hayase@appi.keio.ac.jp



<https://www.appi.keio.ac.jp/hayase/>

