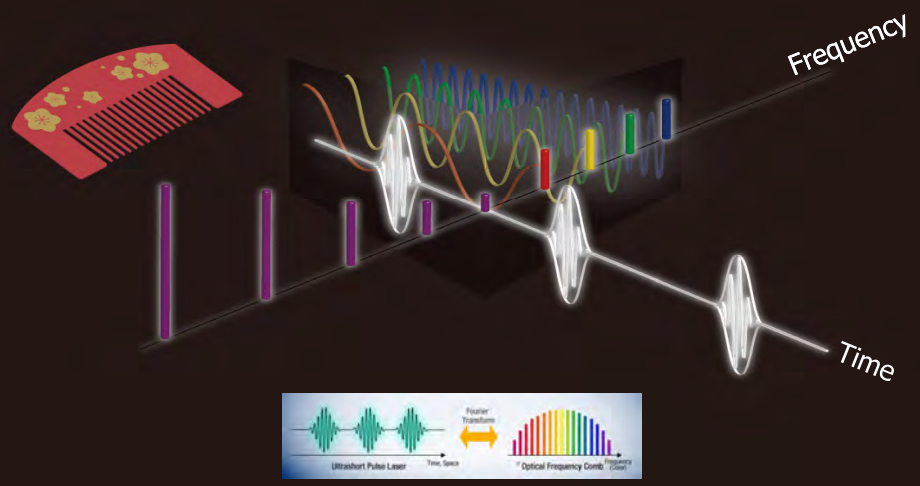
光周波数コムによる
時空間の高精度計測

電気通信大学
大学院情報理工学研究科　基盤理工学専攻
○美濃島 薫

光（周波数）コム：多次元の光波制御・操作ツール

“人類が手にした最も正確なものさし”



卒業生 内田めぐみさん画@現在NHK D

2005年ノーベル物理学賞

Nobel Prize in Physics in 2005　shared with Roy J. Glauber

Dr. Theodor W. Hänsch
(MPQ,Germany)

Dr. John L. Hall
(JILA/NIST,USA)

"for their contributions to the development of laser-based precision spectroscopy, including the optical frequency comb technique"

「光周波数コム技術」を含むレーザーを用いた精密分光への貢献

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2005/

「光コムとは」

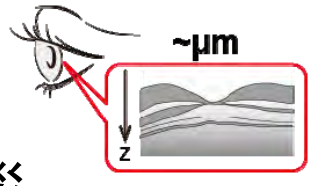
～人類が手にしたもっとも正確なものさしの誕生～

“Metrology, the Mother of Science*”

計測は科学の母

* J. Hall, Nobel Lecture (2005)

「ものさし」は全ての基本

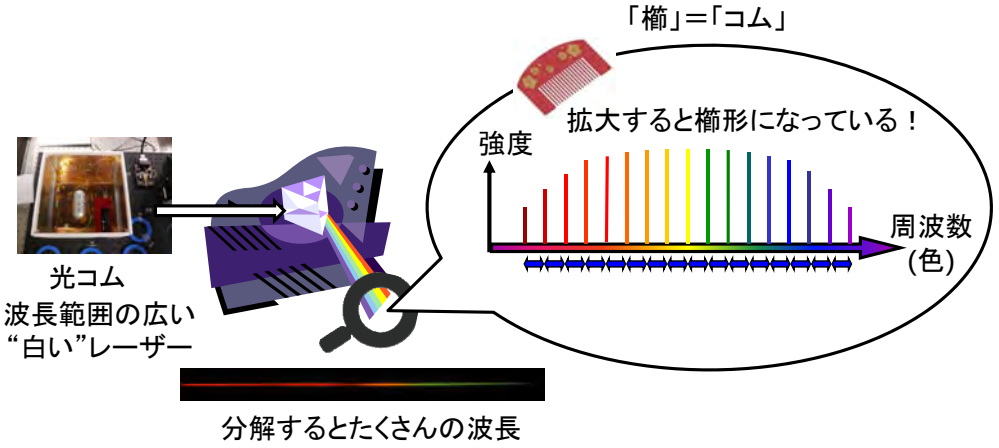


医療、製薬、環境、防災。。。

AI、ビッグデータ

測れなければ、始まらない！

光の櫛 「光（周波数）コム」



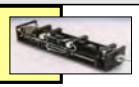
光コムは「光のものさし」

ただの櫛型スペクトル
ではない

- 長くて正確な光周波数のものさし
  - ➢ 光周波数は大きすぎて既存装置で測れない。

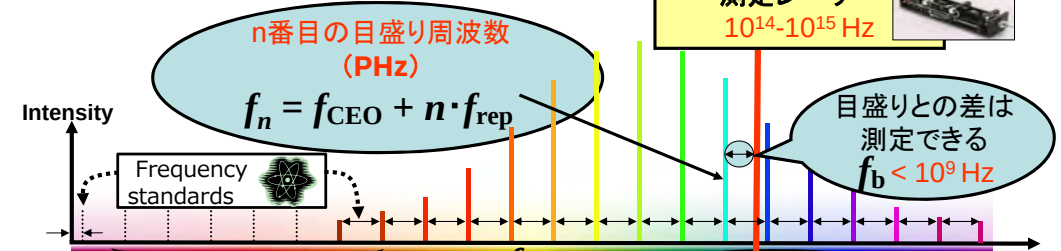
Absolute frequency 192,792,577,491,961 Hz

測定レーザー
10^{14}-10^{15} Hz



n番目の目盛り周波数
（PHz）
$f_n = f_{CEO} + n \cdot f_{rep}$

目盛りとの差は
測定できる
$f_b < 10^9$ Hz



電波領域
→ 絶対測定・制御
可能

レーザーの周波数が測定できる
$f = f_{CEO} + n \cdot f_{rep} + f_b$

極めて等間隔
10^{-20} ！

1999年に絶対計測が[illegible] 3カ国のみ。独、米、日

2005年ノーベル物理[illegible] J.L. Hall (米)

T. Udem et al., Phys. Rev. Lett., 82, 3568 (1999)
D.J. Jones et al., 288, 635 (2000)

「秒」と「メートル」がつながった

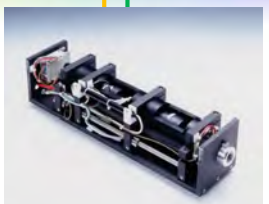
統一的実現へ！

電波の領域

9 192 631 770 Hz

光波の領域

1 GHz　1THz　1 PHz



最も精密に
定義されている

様々な分野で
応用されている

原子時計

レーザー

http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2003/pr20030609/pr20030609.html

https://www.nmij.jp/library/units/length/

s　時間（周波数）標準

長さ（波長）標準　m

広範な周波数帯をコヒーレントにリンク。広ダイナミックレンジ

メートルの定義の実現

2009年7月、日本の国家標準改定。
“日本の全ての物差しの基準”が
変わった！

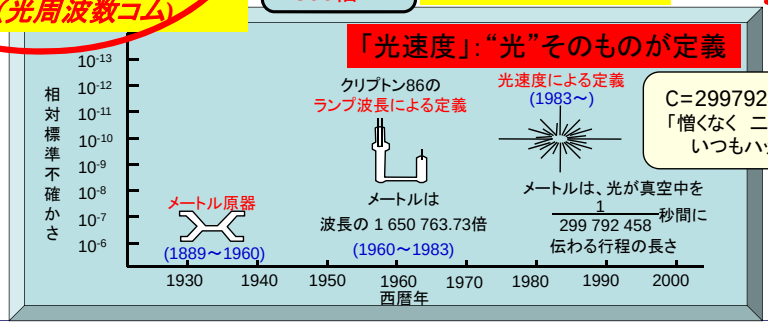
波長（任意）（秒の定義）
不確かさ(k=2) 1.4×10^{-13}

“光コム”(光周波数コム)

高精度
300倍！

「速度」=「波長」×「周波数」
HeNeレーザー 波長 633nm
不確かさ(k=2) 4.2×10^{-11}

“連続波レーザー”



光コムは「単なる周波数ものさしではない」

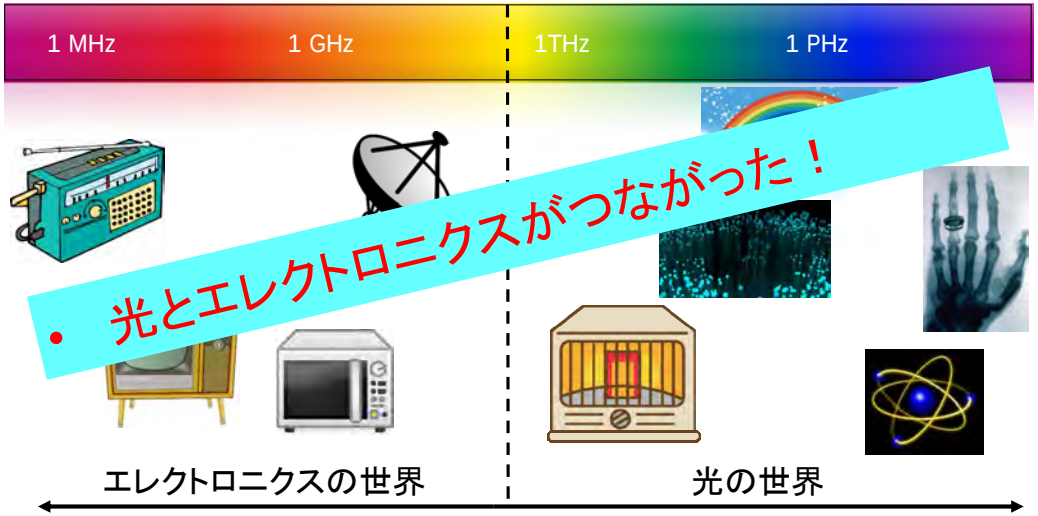
一般には縁がない？
こんなに高い精度は要らない？

しかし、これでは終わらなかった。

ノーベル賞を超えて、その先へ！

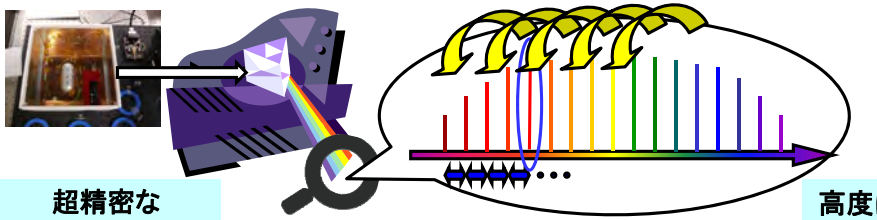
光コム　~ 単なる周波数リンクでない

電気・電子と光の世界（技術分野）をつなぐ



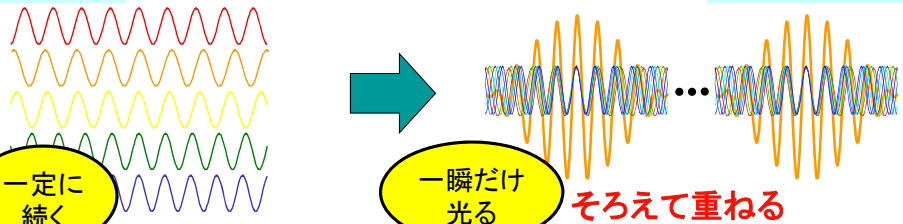
• 光とエレクトロニクスがつながった！

光の櫛　「光（周波数）コム」



超精密な
連続波レーザー

高度に制御された
超短パルス列

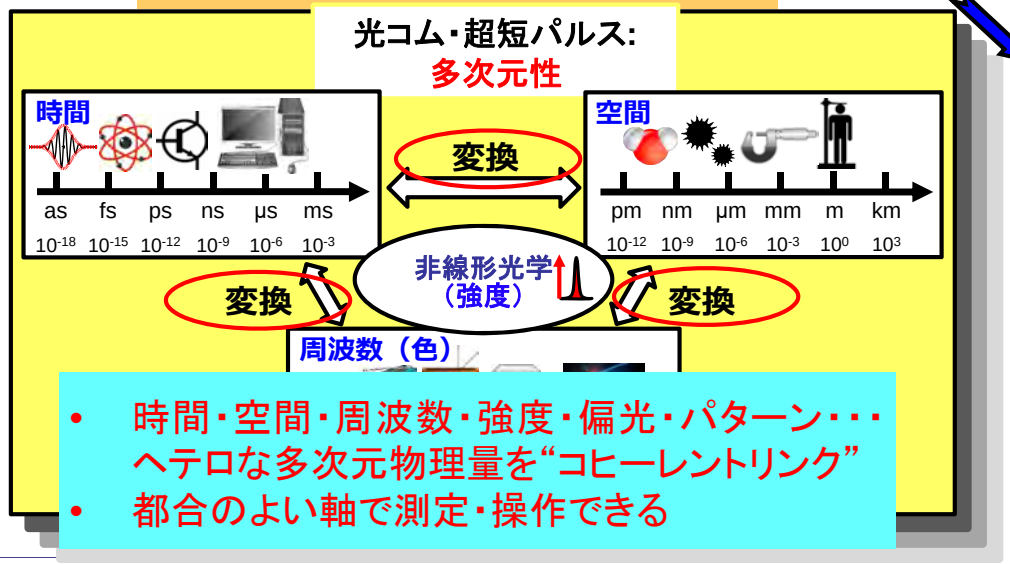


1台で、
超精密な連続波レーザーと超短パルスレーザーの性質を持っている！

光コム
~ 単なる周波数ものさしでない

超短パルス列: 多重性、広ダイナミックレンジ

光コム・超短パルス:
多次元性



- 時間・空間・周波数・強度・偏光・パターン・・・ヘテロな多次元物理量を“コヒーレントリンク”
- 都合のよい軸で測定・操作できる

光コムは単なる「周波数ものさし」ではない

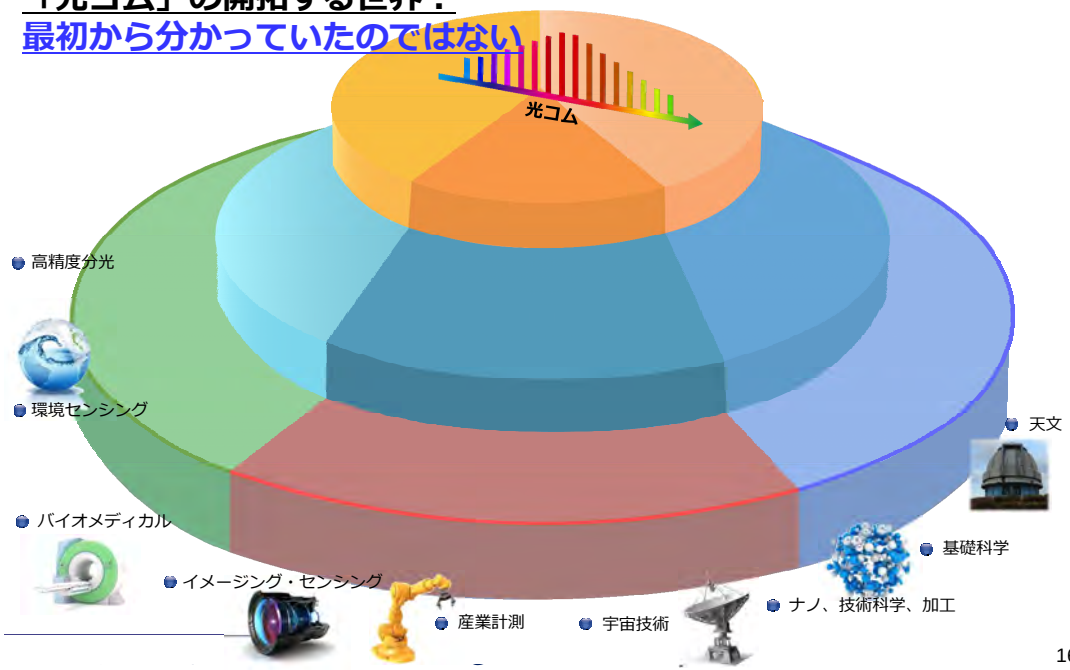
多次元性	ダイナミックレンジ	自在な制御
精度を落とさず異なる次元をつなげることが可能	広い範囲を高精度に測定、操作できる	光の多彩な性質を応用に応じて自在に制御

圧倒的正確さの“余裕”は、
光のポテンシャルを引き出し新たな機能を生む

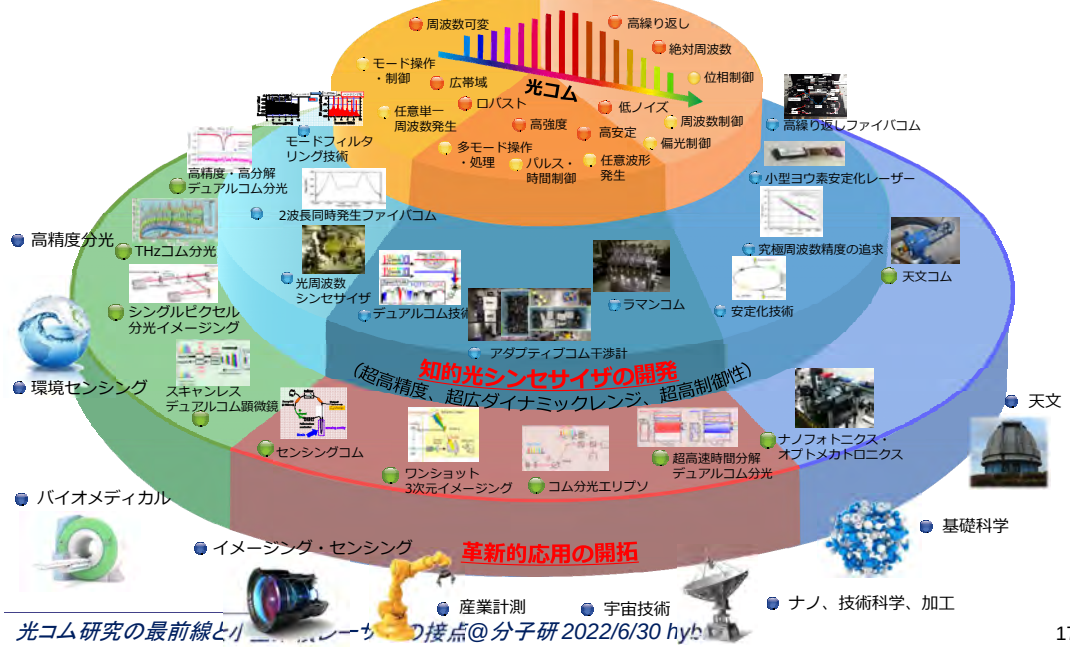
- 光を自在に操作するツール 「知的光シンセサイザ」
  - 光のあらゆる性質を自在に操作・制御できる
  - 光の瞬時波形の振幅と位相をそのまま操作できる

「光コム」を「知的光シンセサイザ」へ
”ものさし”から”光を自由自在に操作するツール”に高める

「光コム」の開拓する世界：
最初から分かっていたのではない



JST, ERATO 美濃島 知的光シンセサイザ（2013.10～2020.3）



JST, ERATO 美濃島 知的光シンセサイザ（20

ものさしではなく光源として！

CW光源（各モード）

『光周波数シンセサイザ』

広帯域任意光周波数発生

- 単一モードを利用
- 波長可変光源を同期

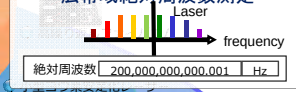
モード制御
“光周波数シンセサイザ”
任意シングル周波数発生

ものさしの新しい使い方！

周波数ものさし

『高精度波長計』

広帯域絶対周波数測定

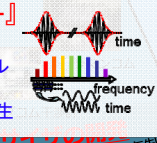


多数・多次元の光源として！

パルス・多モード光源

『コムレーザー』

- 超短パルス列
- 広帯域スペクトル
- 多モード光源：精密RF-光発生



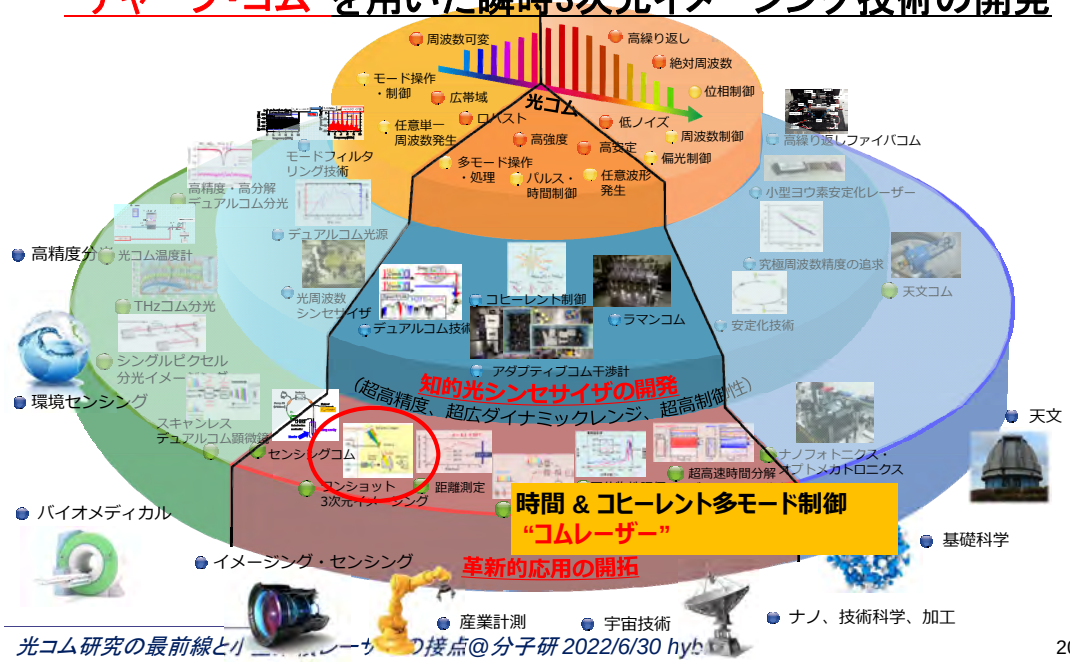
周波数制御
“高精度ものさし & 波長計”

時間 & コヒーレント多モード制御
“コムレーザー”, コヒーレントな
パルス列、広帯域光、多モード光

JST, ERATO 美濃島 知的光シンセサイザ（2013.10～2020.3）

新しい科学技術プラットフォームの誕生！

“チャープ・コム”を用いた瞬時3次元イメージング技術の開発



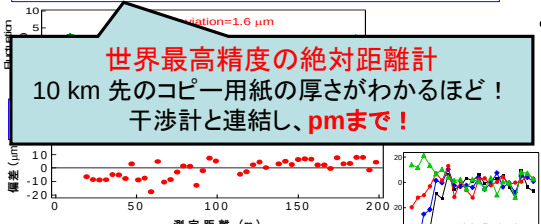
時間 & コヒーレント多モード制御
“コムレーザー”

コム距離計：
コムの応用のさきがけ

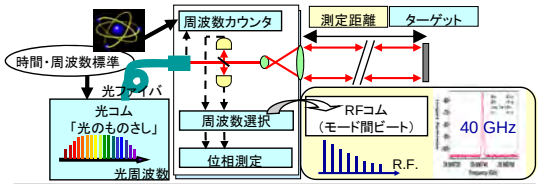
K. Minoshima and H. Matsumoto, CLEO-PR, 765-766 (1999);
Appl. Opt. 39, 5512-5517 (2000); Ultrafast Phenomena XIII (2003)

コムの世界初の周波数計測以外の応用と言われている

超高分解能：200 nm 短距離 (f = 40 GHz);
1.6 μm, 7X10^{-9}, 240 m (f = 10 GHz)

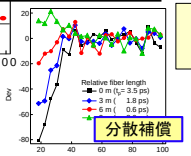


世界最高精度の絶対距離計
10 km 先のコピー用紙の厚さがわかるほど！
干渉計と連結し、pmまで！



高精度・高次高調波モード間ビートの位相測定
f = 50 MHz, 10 GHz, 40 GHz (821st 高調波)

長距離タイプ



高精度ファイバ伝送
（256 m）

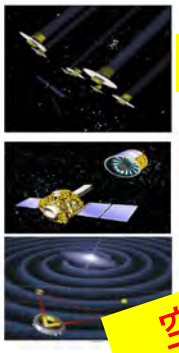
屋外でも高精度測定
超高分解能（空気揺らぎ限界）:
σ =14 μm (@280 m)~ 5 x 10^{-8}

短距離タイプ

組み込み可能
参照標準との差
2 μm/10 m

距離の高精度絶対測定

・超長距離絶対測定　・絶対距離・位置センシング　**産業計測**



宇宙科学・技術

(from ESA report
by R. Holzwarth, ..,
T. Hänsch, 2008)

空気屈折率補正が大きな不確かさ要因

J. Lee, et al., Sci. Rep., 4:5134: p. 1-7 (2014)

様々な場面で、絶対測定が必要！<μm/ 数10 m
- 距離・位置センシング、製造モニタ・検査
- 外乱によるビーム遮断の影響排除
- 長期モニタ（地殻変動、建造物劣化）
- 微小長さを離れて測定（半導体デバイス評価）

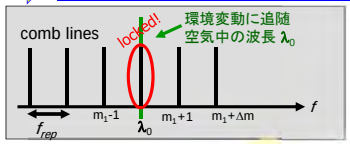
- 究極の超長距離測定、
  < pm/km

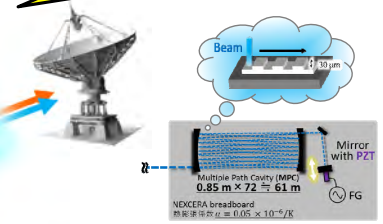
環境補正型計測への展開

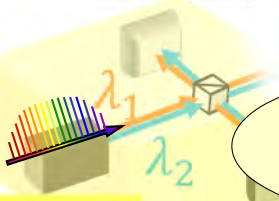
美濃島, 特許第6635758;特許第6836048号;特許第6895192号

単に精密なだけでない。
“精度の余裕”が“機能”を生む

光が環境を自己申告。“アダプティブコム”
精密な波長関係を用いて光自身を作り変える！

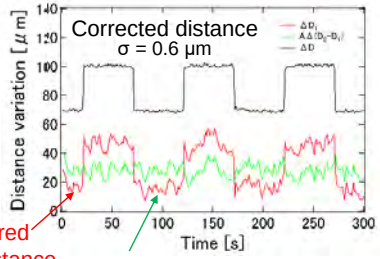






Two-color
interferometer

もやもや60 m通過。
ナノメートルレベル
の補正精度



Measured
optical distance

Two-color correction term

リアルタイム空気揺らぎ補正による
遠隔段差測定
不確かさ < μm、光路長 61 m, 1x10^{-8}

高速・高精度・広範囲3次元計測技術の応用

➢ 大型物体の超精密
形状・構造計測

https://www.ihi.co.jp
/recruit/ihi/field/03/

ものづくり、車体、航空機、ビッグサイエンス

➢ センシング、LiDAR

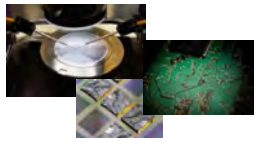
https://www.solveforx.com
/selfdrivingcar

自動運転、ロボット

➢ 材料変形、加工状態
の瞬時計測

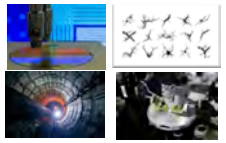
加工、過渡現象

➢ 微細構造の形状計測



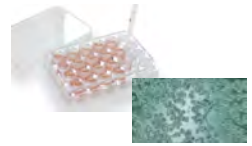
半導体、デバイス、配線パターン

➢ 表面状態



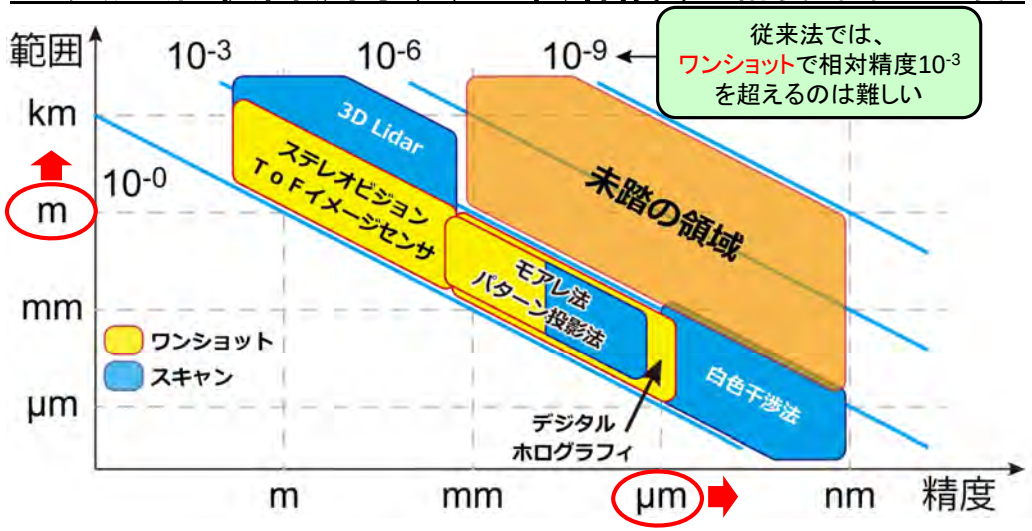
欠陥検査、キズ検査

➢ 細胞の形状観察・解析



細胞培養解析、顕微鏡

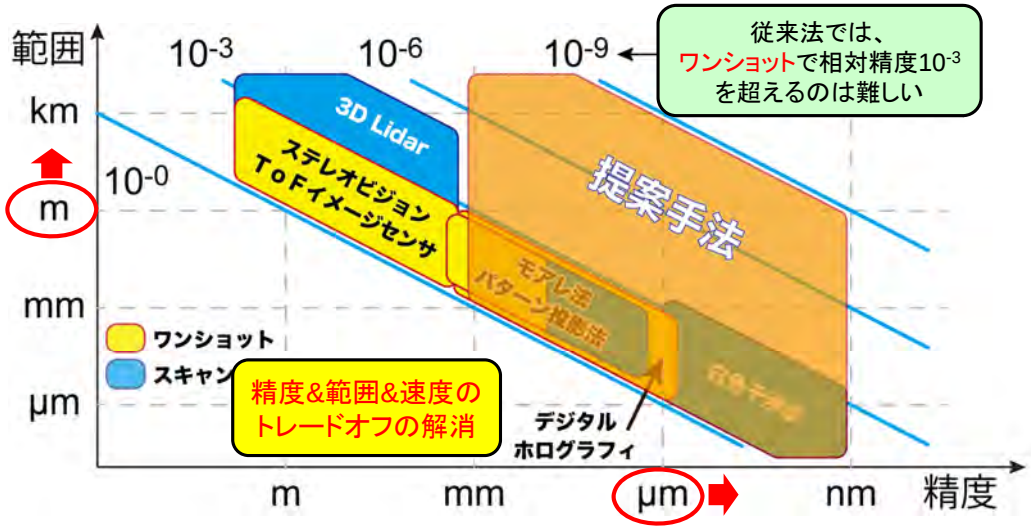
三次元形状計測手法の未踏領域(精度・範囲・速度)



従来法では、
ワンショットで相対精度10^{-3}
を超えるのは難しい

光コム:高精度かつワンショットで10^{-3}を超える手法が実現できる

空白の領域を埋める計測手法(精度・範囲・速度)

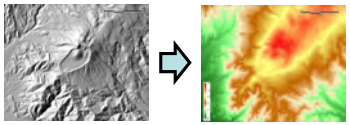


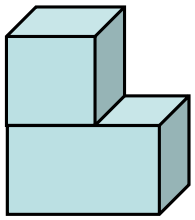
従来法では、
ワンショットで相対精度10^{-3}
を超えるのは難しい

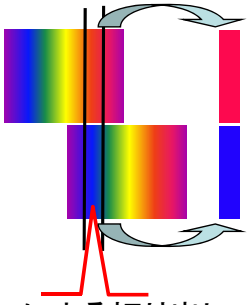
超短パルスを用いた、大型物体から顕微物体までの瞬時計測

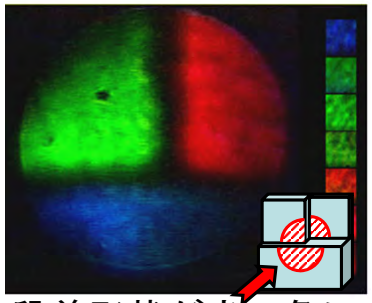
光が作る色分け3次元地図

チャープしたフェムト秒パルス
(多色が規則的に並ぶ"時間の虹")


http://lsweb1.ess.bosai.go.jp/volcano/rrim/rrim.html


測定対象


超高速シャッターによる切り出し
(時間ゲート、"光のナイフ")

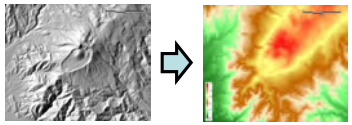

段差形状が光の色に
光が作る色分け地図

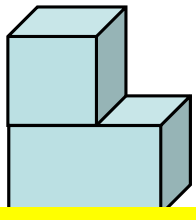
空間 ⇒ 時間 ⇒ 色(フェムト秒パルスを介した超高速情報変換)

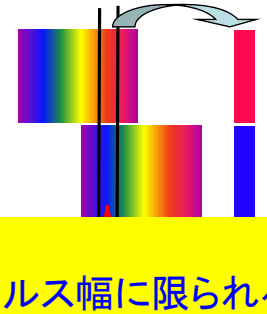
K. Minoshima, H. Matsumoto, Z. Zhang, T. Yagi, *J.J.A.P.* 33,1348 **(1994)**
美濃島:特許2500379 **(1994)**

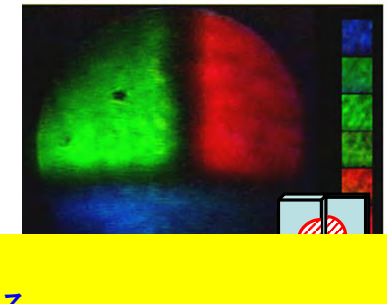
光が作る色分け3次元地図

チャープしたフェムト秒パルス
(多色が規則的に並ぶ"時間の虹")


http://lsweb1.ess.bosai.go.jp/volcano/rrim/rrim.html







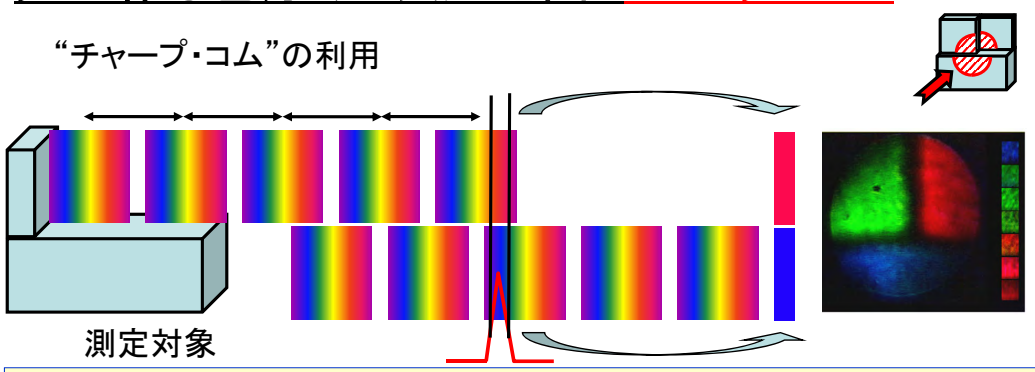
But! problems
- 瞬時測定範囲がパルス幅に限られる
- 超高速シャッターに高出力レーザーが必要。制御性に難

空間 ⇒ 時間 ⇒ 色(フェムト秒パルスを介した超高速情報変換)

K. Minoshima, H. Matsumoto, Z. Zhang, T. Yagi, *J.J.A.P.* 33,1348 **(1994)**
美濃島:特許2500379 **(1994)**

光が作る色分け3次元地図　with 光コム!

“チャープ・コム”の利用



光コムで課題解決!

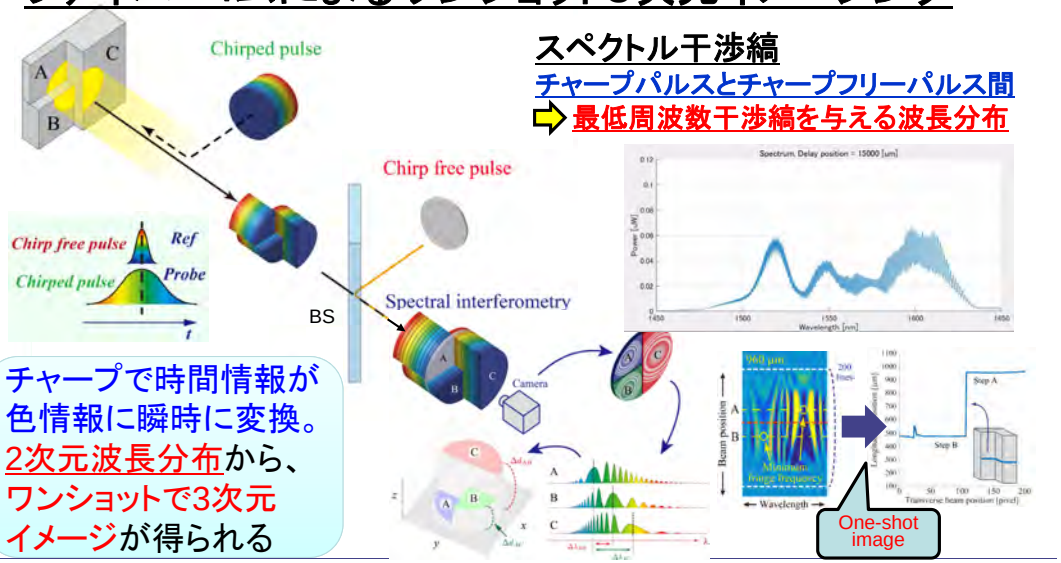
- チャープ・コムの利用 ➡ 計測における精度＆範囲＆速度のトレードオフの解消
- パルス間スペクトル干渉で、ゲートを実現
  ➡ 非線形光学効果不要。実用光源ファイバコムの利用
- 位相制御・波形操作の利用 ➡ 全光学的演算による実時間波形信号処理イメージング

➡ **手法の実用性・機能性・性能を大幅に向上**

T. Kato, ..., K. Minoshima, Sci. Rep. 7, 3670 (2017); OSA Continuum 3, 20 (2020); 美濃島, 特許第6820020号(2016); US patent; German patent

加藤

ファイバ・コムによるワンショット3次元イメージング



スペクトル干渉縞

チャープパルスとチャープフリーパルス間

➡ 最低周波数干渉縞を与える波長分布

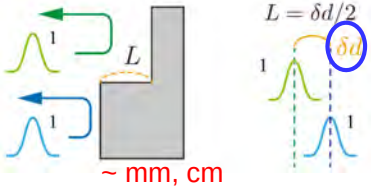
チャープで時間情報が色情報に瞬時に変換。2次元波長分布から、ワンショットで3次元イメージが得られる

“精度の余裕”が“機能”を生む

ワンショットで 3 mの段差測定

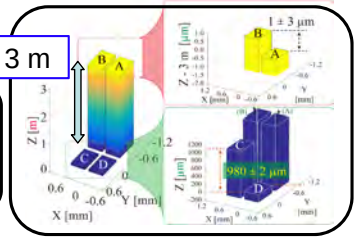
3mの段差形状をμm精度で無走査測定（実験結果）

- 小さい物体 ⇨ 単一パルスの干渉

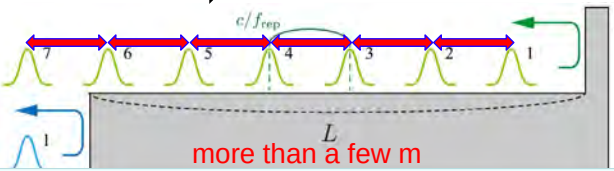


μm精度

精度を落とさず大きな段差形状が測れる



- 大きい物体 ⇨ コム干渉（パルス間干渉）を利用



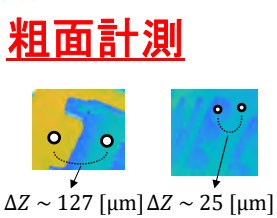
$L = (13c/f_{rep} + \delta d)/2$

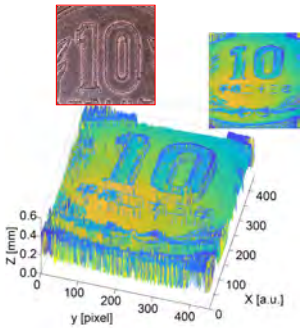
μm精度

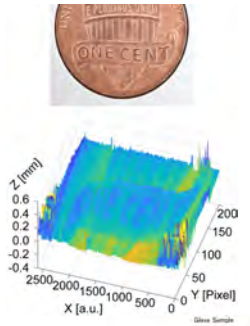
個数分は精度に影響しない

大きいサイズや離れた面の形状を、精度を落とさず、スキャンなしで測定できる。

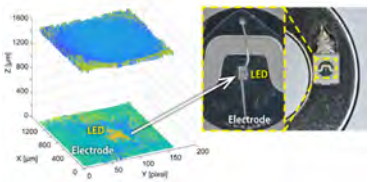
粗面計測



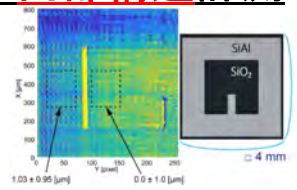




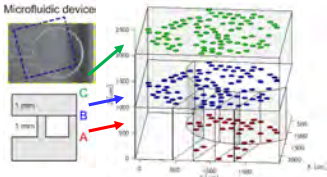
電子・光デバイスの内部構造計測



LED素子と樹脂被膜



Si-PD表面形状（μm構造）



sub- μm uncertainty

マイクロ流路の内部構造

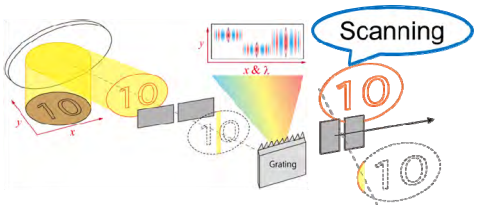
大型構造物から微小物体、内部構造までの高精度瞬時計測

T. Kato, M. Uchida, Y. Tanaka, K. Minoshima, Opt. Express 29, 43778 (2021)

回折格子分光器を用いた原理実証

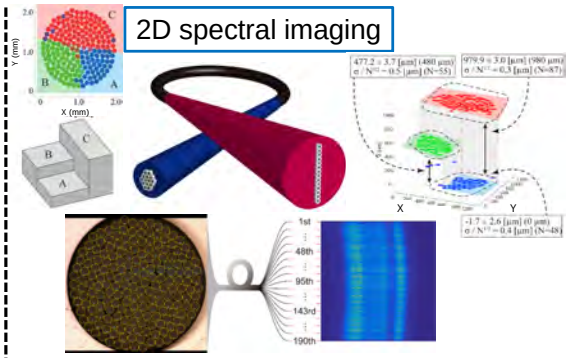
- 本手法では、1パルスに3次元情報が記録されている。
- しかし、1次元分光手法を用いると、読み出しは2次元になってしまう。

1D spectroscopy



ラインスキャンを併用

2D spectral imaging



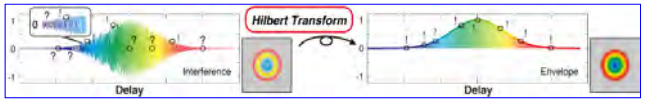
バンドルファイバで画像変換

ラインスキャンが必要、または、計測点数が限定されていた。

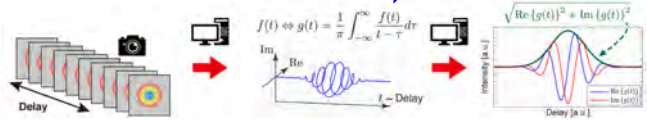
T. Kato, ..., K. Minoshima, et al., CLEO (2018, 2019); arXiv:2006.07801 (2020), 特願2018-038101,特願2018-038102, 特願2018-038103

無走査で高解像3次元イメージを取得する方法?

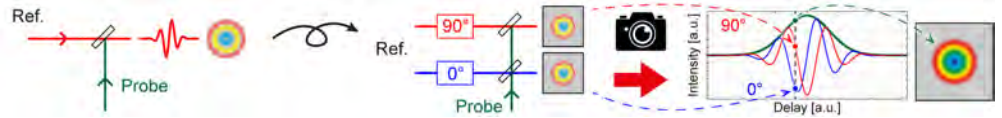
□ **Task**: 遅延時間依存の干渉縞の特徴色画像の取得 ➡ 干渉縞の包絡線画像取得



➢ 従来法. 遅延時間走査と計算が必要! ➡ 実時間取得ができない

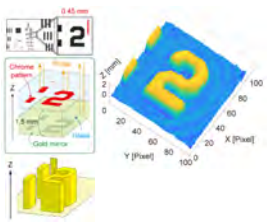


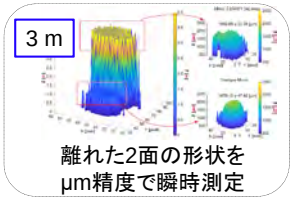
➢ 本方法: "光ヒルベルト変換" 遅延走査&FFT不要



光コムによる全光演算。干渉縞信号の包絡線と位相の実時間取得

計測結果

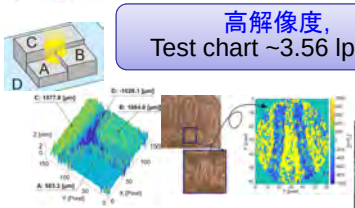




離れた2面の形状を
μm精度で瞬時測定

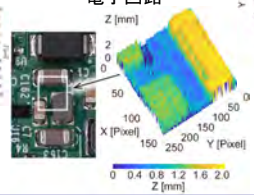
大型計測

高解像度,
Test chart ~3.56 lp/mm



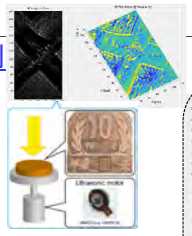
段差物体
A-B (480): **479.8 ± 2.9 μm**
B-C (500): **499.3 ± 3.1 μm**

硬貨

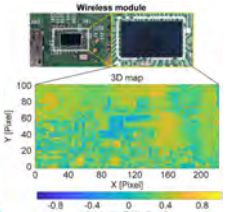


電子回路

動体計測

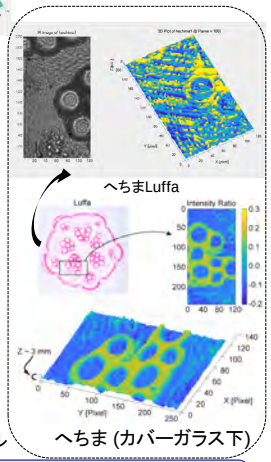


超音波モータ



パッケージ IC モジュール

顕微計測



へちま (カバーガラス下)

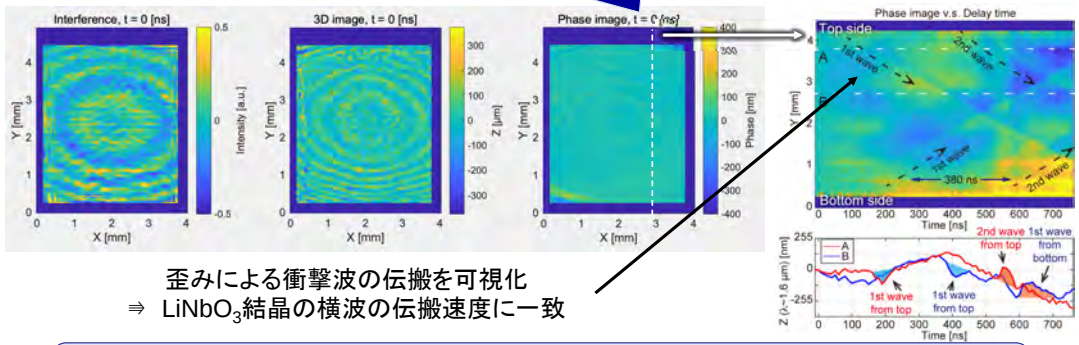
無走査で表面形状・内部構造計測

任意形状の無走査3次元計測。~μm不確かさ、光学系・カメラ限界解像度(140x256pxl)。大型構造物から微小物体、内部構造計測。超高速現象

超高速現象の可視化:電気光学結晶の動的特性

- 超高速過渡現象の3次元可視化
- 強度と位相イメージングで、ナノメートルレベルの歪みを可視化

結晶中のナノ秒応力波伝搬可視化
Δφ ~40 nm



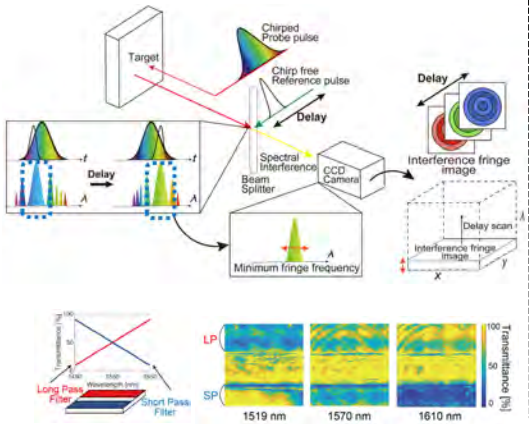
歪みによる衝撃波の伝搬を可視化
⇒ $LiNbO_3$結晶の横波の伝搬速度に一致

シングルパルスで超高速現象の3次元可視化に成功
適用性の広い高速・高精度・広範囲3次元イメージング法の実現

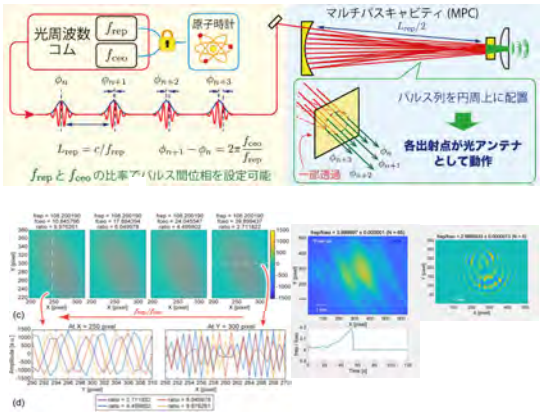
光コムの位相制御を利用した時空間情報処理・操作

全光学的演算による実時間波形信号処理

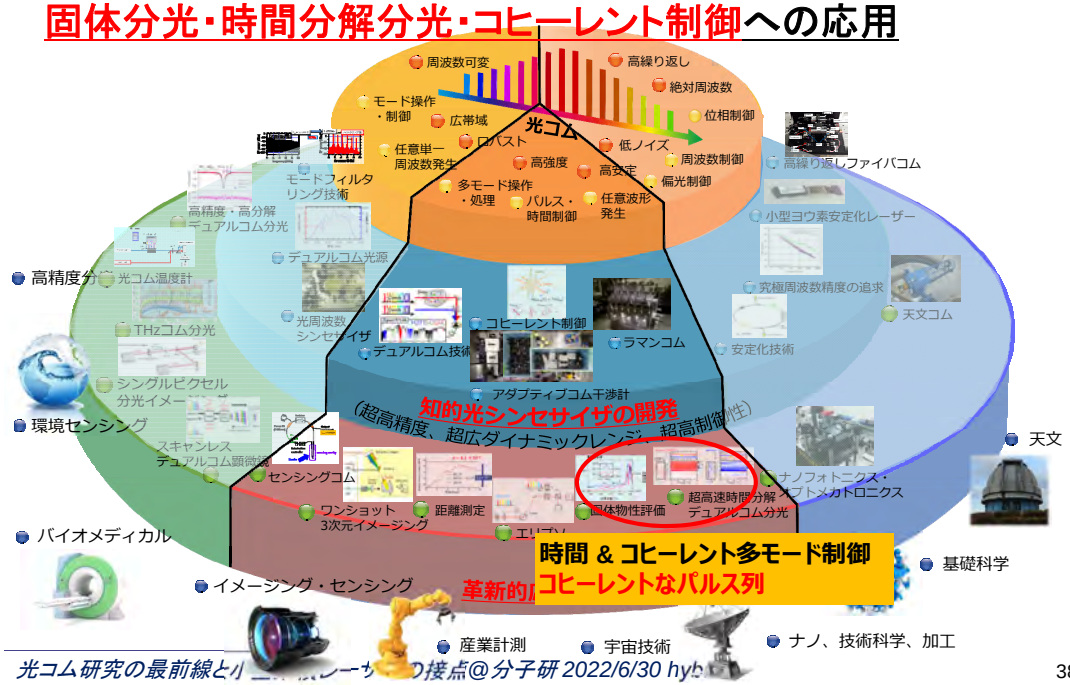
チャープコムを用いたハイパースペクトルイメージング



光コムのフェーズドアレイによる空間波形操作

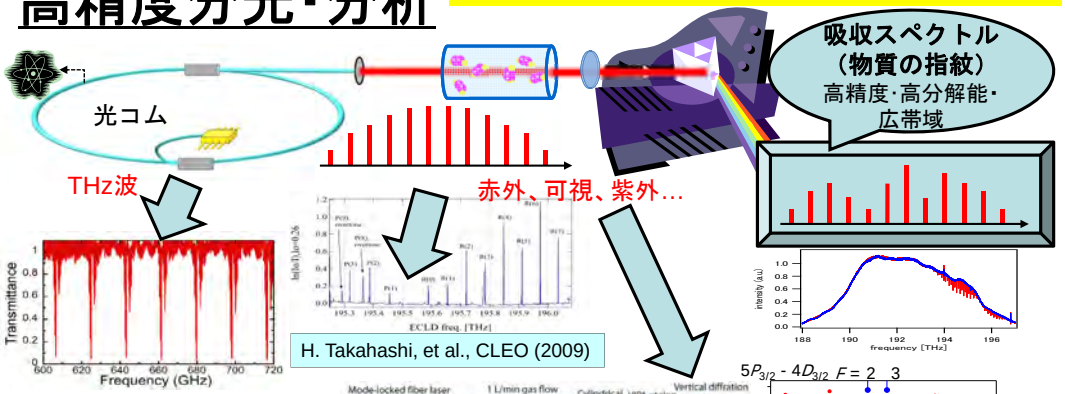


固体分光・時間分解分光・コヒーレント制御への応用



高精度分光・分析

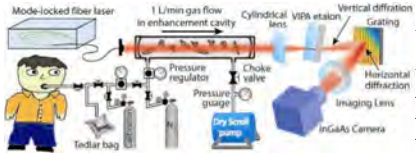
基礎物理・環境・医療・分析・光通信



H. Takahashi, et al., CLEO (2009)

Y.-D. Hsieh, et al., J. Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, 37, 903 (2015)

環境・燃焼計測



M.J. Thorpe et al., Opt. Exp., Vol. 16, p.2387 (2008)

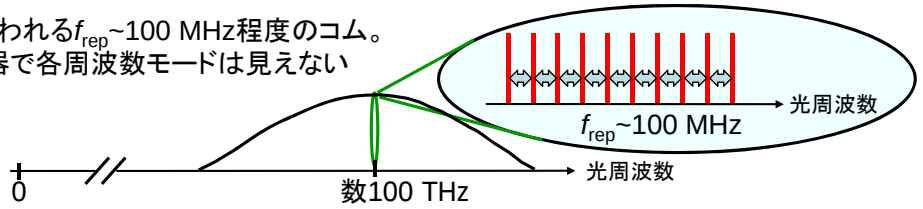
分光データベース、通信波長基準、呼気診断

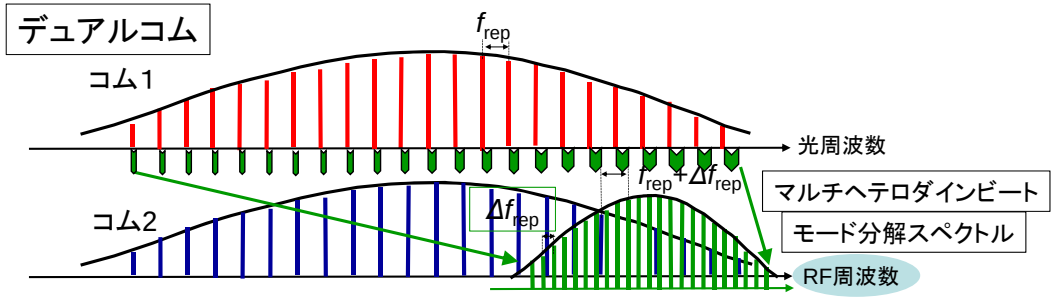
A. Nishiyama, et al., Opt. Exp. 24, 25894 (2016)

デュアルコム分光
：マルチヘテロダインビートによるモード分解

※S. Schiller, Opt. Lett. 27, 766 (2002)
I. Coddington, et al., Phys. Rev. Lett. 100, 013902 (2008)

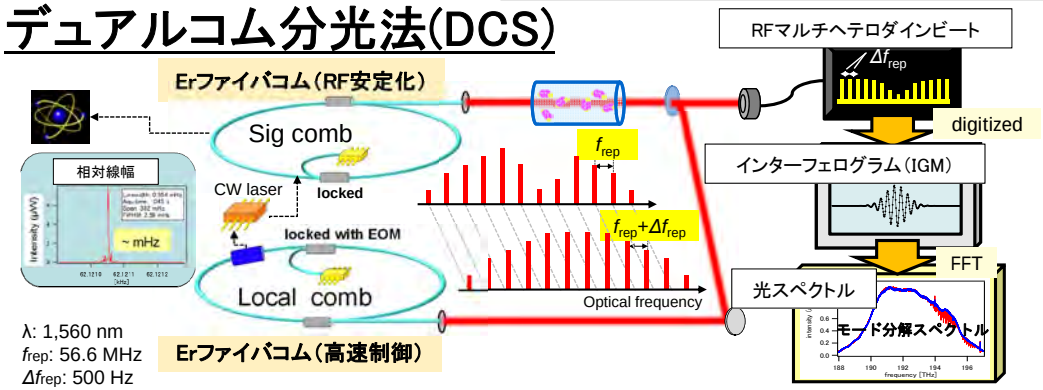
よく使われるf_{rep}~100 MHz程度のコム。
分光器で各周波数モードは見えない





A. Nishiyama, S. Yoshida, Y. Nakajima, H.Sasada, K.Nakagawa, A.Onae, K. Minoshima, Opt. Exp. 24, 25894 (2016)

デュアルコム分光法(DCS)

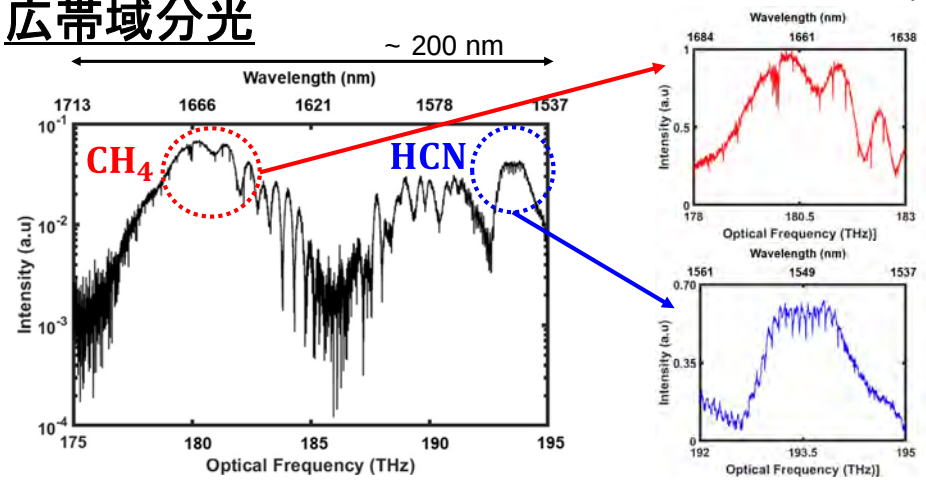


λ: 1,560 nm
f_{rep}: 56.6 MHz
Δf_{rep}: 500 Hz

- **高速・広帯域・高精度・モード分解分光**
- **様々な原子・分子気体の高精度分光に用いられている**

広帯域分光

Measurements with $\Delta f_{rep} = 37.2\ Hz$

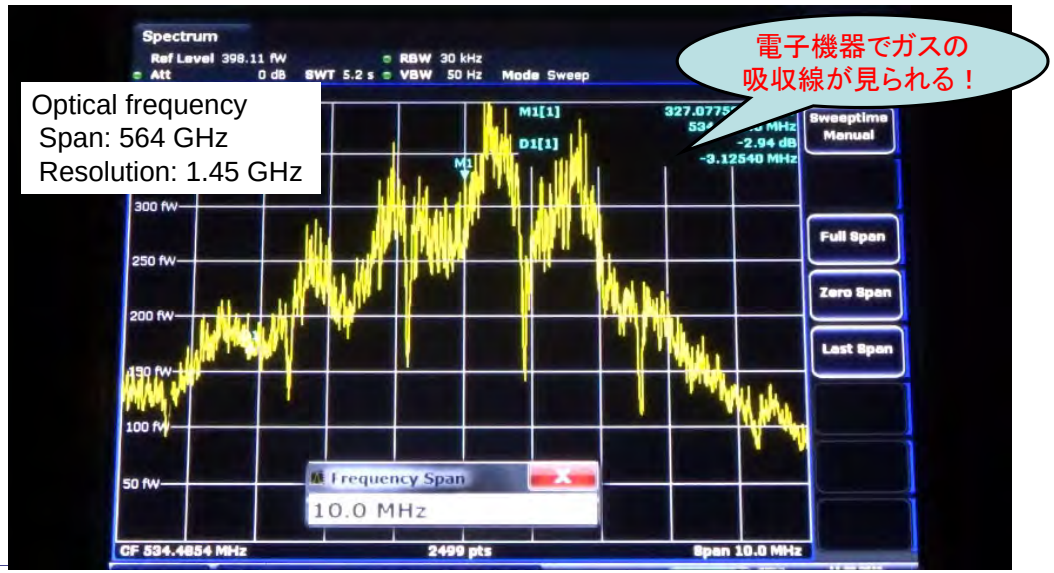


異なるガス種の吸収線が一度に取得できた！
高精度かつ広帯域の両立。
多成分同時解析へ

A. Nishiyama, S. Yoshida, T. Hariki, Y. Nakajima, K. Minoshima, Opt. Exp. 25, 31730 (2017)

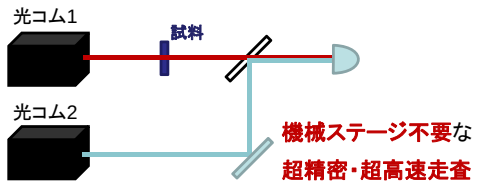
リアルタイム分光　HCN gas

:モードフィルタ・コムで高感度化＆RFスペアナによる直接測定

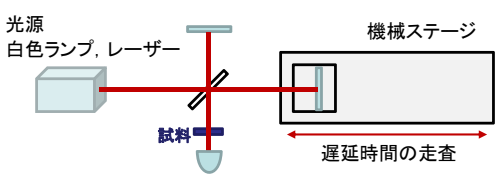


デュアルコム分光と、従来技術FTIRの比較

デュアルコム分光（DCS）



従来技術：フーリエ分光（FTIR）



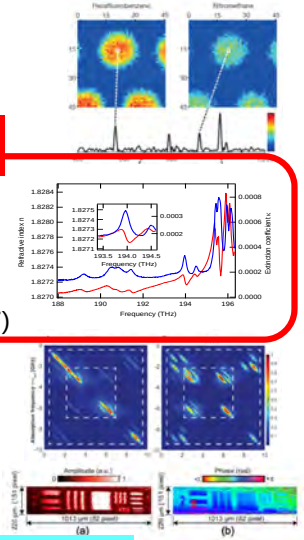
デュアルコム分光の利点

1. 超高周波数分解能
   光コム分解能：**~ 30 MHz（0.3 pm）**
2. 超高速な分光データ取得速度
   > 1 kHz/samplingを容易に達成
   （リアルタイムモニターが可能）
3. 位相の直接・高精度検出
   試料の光学特性の直接評価が可能

※ 同様の性能をFTIRで達成しようとすると、
機械ステージにおいて、
~ 10 mの長さ、および
~ 10 km/s の走査速度（音速以上！）が必要

測れるのは、
吸収だけじゃない

応用対象が拡大中



- 非線形分光イメージング
  - T. Ideguchi, et al., Nature
- 固体物理
  - A. Asahara, A. Nishiyama, S. Yoshida, K. Kondo, Y. Nakajima, K. Minoshima, Opt. Lett. 41, 4971 (2016)
- 超高速現象
  - A. Asahara, K. Minoshima, APL Photonics, 2, 041301 (2017)
- 多次元分光
  - B. Lomsadze, S.T. Cundiff, Science 357, 1389 (2017)
- 共焦点顕微鏡
  - E. Hase, et al., Optica 5, 634 (2018)

物質・材料特性

➡ • 広範な応用に強力なツールとなりつつある

A. Asahara and K. Minoshima, App. Phys. Exp. 12, 072014 (2019);
美濃島、浅原、特願2018-247417, 特願2018-165528, 特許第6963322

浅原

材料特性のための“分光ネットワークアナライザ”

制御された “入力波形”

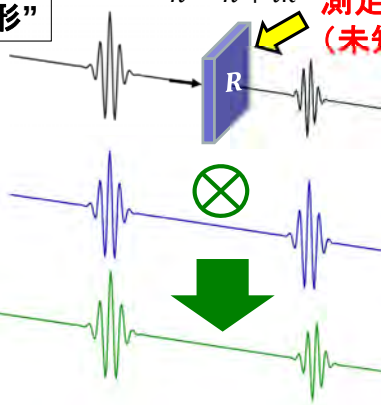
コムで制御！
（シグナルコム・パルス）

基準コムで測定！
（ローカルコム・パルス）

インターフェログラム
（RF周波数）

$\tilde{n} = n + i\kappa$

測定試料
（未知の “応答関数”）



“出力波形”を解析

光周波数は高すぎて、直接測定・制御できない
~ 数百THz

振幅と位相の完全解析

• 制御された光電場波形の直接測定 ➡ • 材料特性の直接完全解析が可能

A. Asahara, A. Nishiyama, S. Yoshida, K. Kondo, Y. Nakajima, K. Minoshima, Opt. Lett. 41, 4971 (2016)

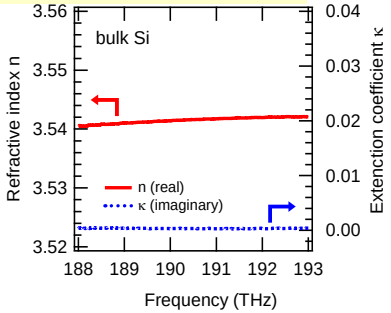
固体材料の複素屈折率分光特性の高速評価

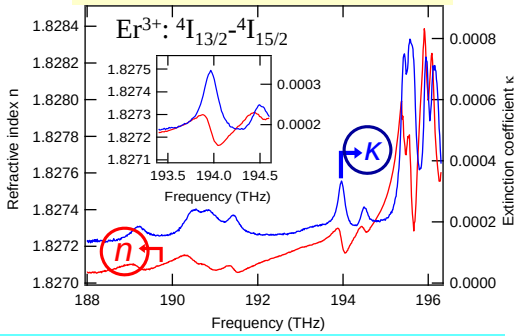
デュアルコム分光による固体の複素光学物性評価

半導体材料 Si wafer, 730 μm thick

複素屈折率 $\tilde{n}(\omega)$

希土類 Er:YAG ceramics
50 %-doped, 0.55 mm-thick



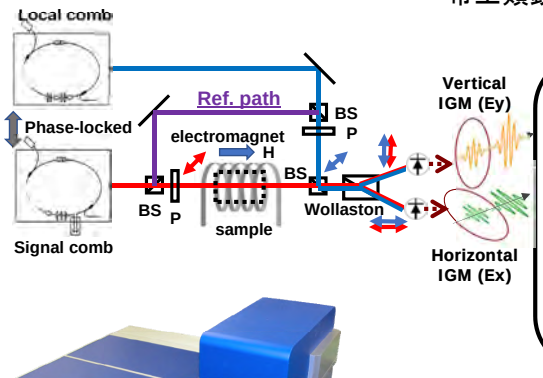


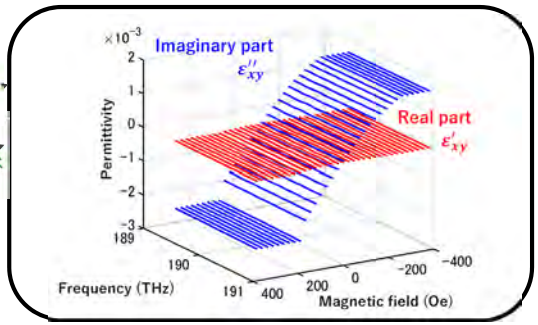
高速測定 ~10 ms /scan
複素屈折率スペクトルの直接導出（Kramers-Kronig変換なし）
➡ 材料評価の有用なツール

磁気光学デバイスの特性評価（複素特性）

希土類鉄ガーネット単結晶、ファラデーローテータ

$\varepsilon'_{xy} = -\frac{2cn}{\omega l}\eta_F, \varepsilon''_{xy} = \frac{2cn}{\omega l}\theta_F$ ($\kappa = 0$), θ_F: azimuth, η_F: ellipticity





Collaboration with Neoark Corp.

複素誘電率テンソルスペクトル、非対角成分を取得

- 全てのパラメータをこの手法で同時に取得できる
- 材料・デバイスの外場応答特性のトータルかつ高速な評価に有用

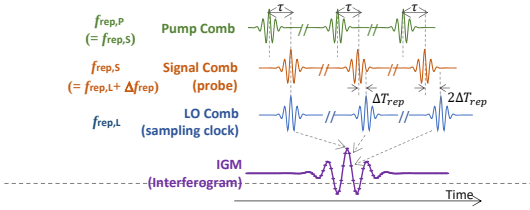
超高速時間分解多次元測定

“超高速 & 超精密”

A. Asahara, et al., APL Photonics, 2, 041301 (2017); App. Phys. Exp. 13, 062003 (2020)

もう一台のコムを追加

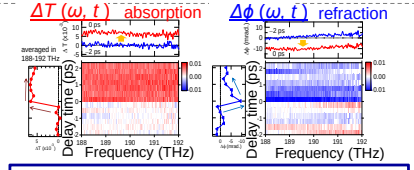
ポンプ・プローブ デュアルコム分光 (Triコム)



デュアルコム分光 ＋ Pump-Probe分光

InGaAs 可飽和吸収体 (BATOP社)

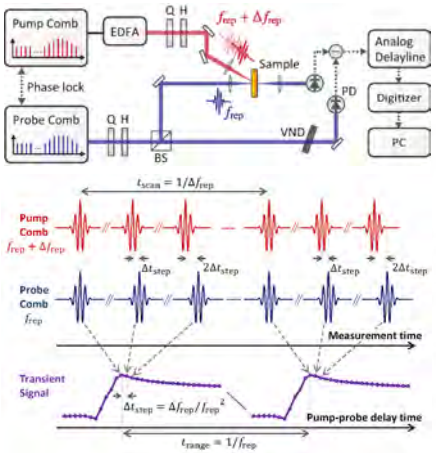
IGM過渡応答（コム電場波形応答）の観測



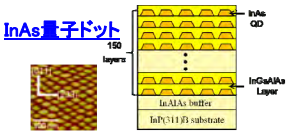
複素光学スペクトルの過渡応答：
“時間・周波数の2D分光”

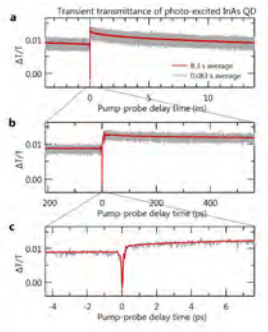
超高速時間分解測定（ASOPSポンプ−プローブ法）

ほぼ同じセットアップ。役割を変えるだけ



InAs量子ドット

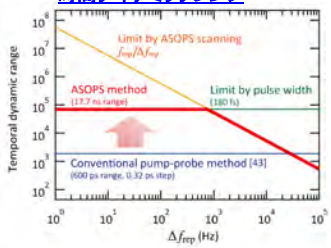




慶應 早瀬先生，NICT赤羽博士共同研究

A. Asahara, Y. Arai, T. Saito, J. Ishi-Hayase, K. Akahane, K. Minoshima, Appl. Phys. Express 13, 062003 (2020).

時間ダイナミックレンジ

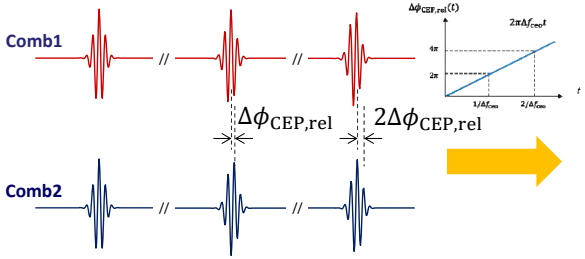


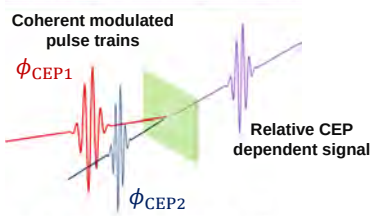
超低ジッタ、～10^5の超高時間ダイナミックレンジ測定

100 fs 時間分解能＋ 10 nsレンジ を一瞬 (Δf_{rep}~ ms)で測定！

光コヒーレンスシンセサイザ

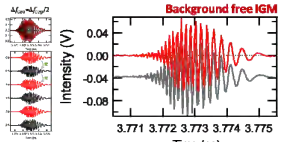
A. Asahara K. Minoshima, Appl. Phys. Express 12, 072014 (2019).
A. Asahara, S. Shoji, K. Minoshima, arXiv:2005.04705 (2020).



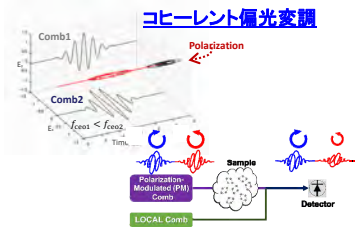


複数のパルス電場が影響する
相対CEP依存現象の観測・制御に有用

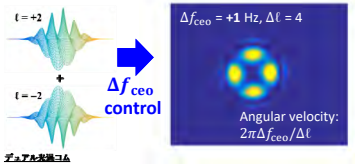
コヒーレント背景光除去



コヒーレント偏光変調



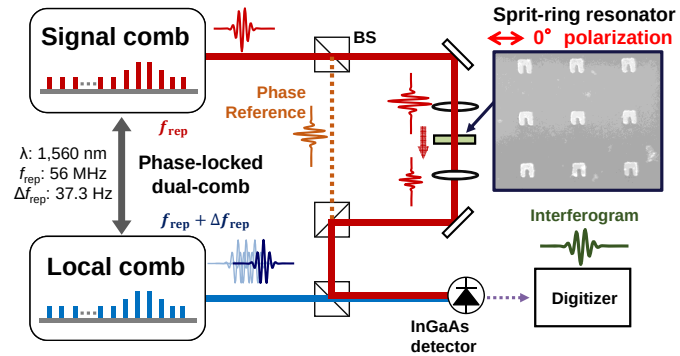
空間モードのコヒーレント制御

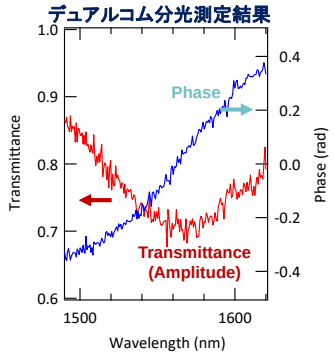


光コムの位相制御性Δf_{ceo}を生かした多彩なコヒーレント変調・制御技術

メタマテリアル光学物性評価の実証

静岡大 杉田先生共同研究





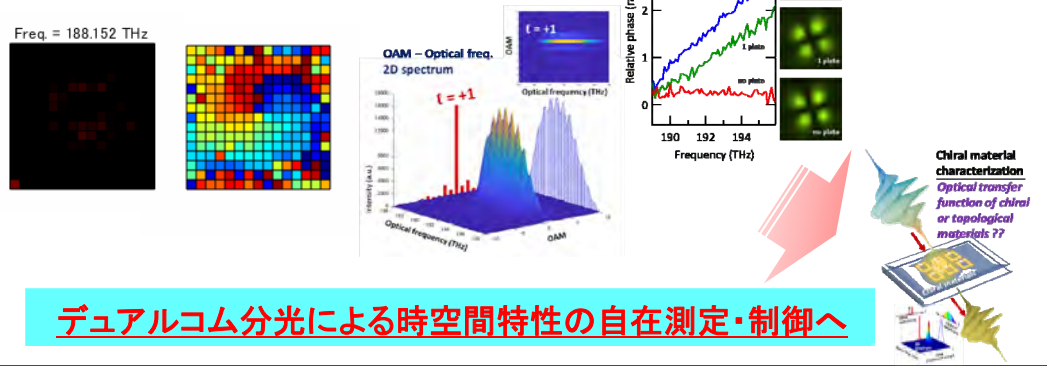
- デュアルコム分光による固体物性評価をメタマテリアル材料（スプリットリング共振器：SRR）へ初めて適用
- 試料の空間構造を明瞭に反映した複素光学応答（振幅・位相スペクトル）取得

デュアルコム分光による空間特性を有する物質研究

デュアルコムによる光渦の時空間位相制御・分光

シングルピクセル・デュアルコムイメージング法に基づく新しい光渦評価法の開発

- 光渦の複素ハイパースペクトルイメージの取得
- 光波の縦モード・横モードの複素光学スペクトルの同時相関評価
  - 軌道角運動量-光周波数2次元スペクトル
  - 任意の光渦の分光特性評価手法



デュアルコム分光による時空間特性の自在測定・制御へ

光源技術の進展

～光源技術が応用を推進～

更なる応用展開へ

単なる精密でない、多彩な機能。。。

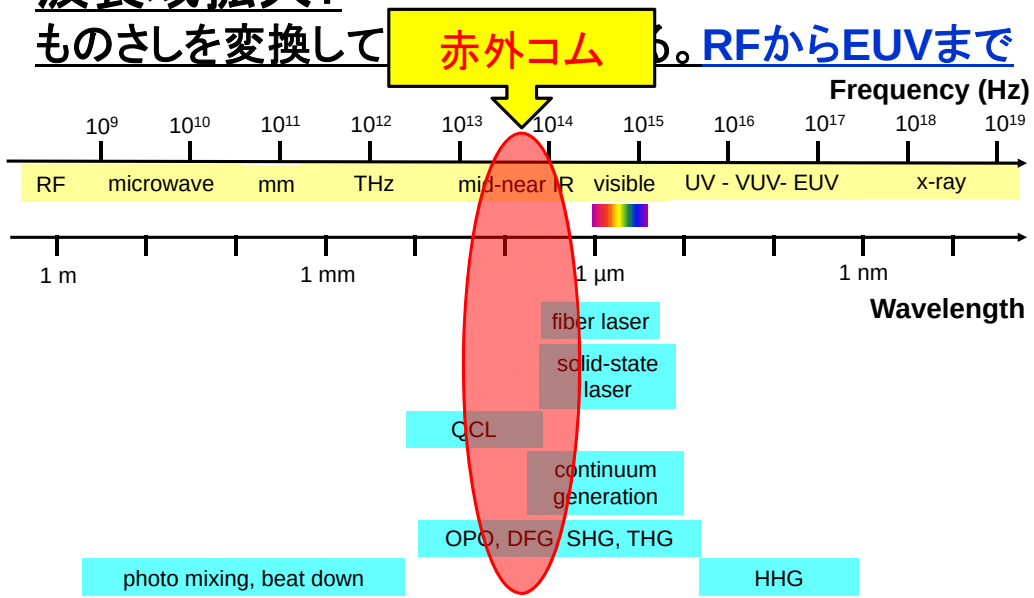
光を使い尽くした応用

更なる発展へ！

光源の飛躍的革新

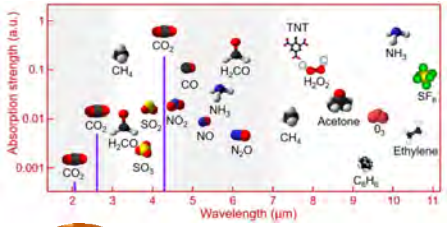
波長域拡大：

ものさしを変換して[illegible]。RFからEUVまで



波長の革新:「赤外」コム

豊富な指紋領域、強い吸収線、大気の窓、低散乱
多種・高識別性・非侵襲・高感度センシング



https://www.mirphab.eu/

正確な櫛で
嗅ぎ分ける

呼気分析、
非侵襲検査、
血糖値モニタ

化学反応、
成分分析

カーボンニュートラル

有害物質、
工業検査、防災

Y. Nakajima, ..., K. Minoshima: Opt. Exp. 27, 14648 (2019); Opt. Exp. 27, 5931 (2019); Opt. Lett. 46, 5401 (2021), 美濃島、中嶋:特願 (2017), 2件

実用的光源の革新:

"デュアルコム・ファイバレーザー"

中嶋

Beihang Univ.: X. Zhao, et.al., Opt. Express **19**, 1168 (2011).
Arizona Univ.: S. Mehravar, et.al., Appl. Phys. Lett. **108**, 231104 (2016).

従来のデュアルコムシステム

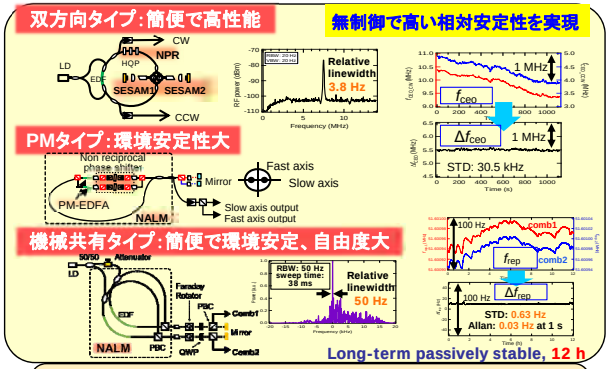
2台の光コム光源
(各々、高精度制御必要)

⊕

相互の高精度制御必要

大幅な
小型化・
コストダウン・
操作性向上

開発した "デュアルコム・ファイバレーザー"

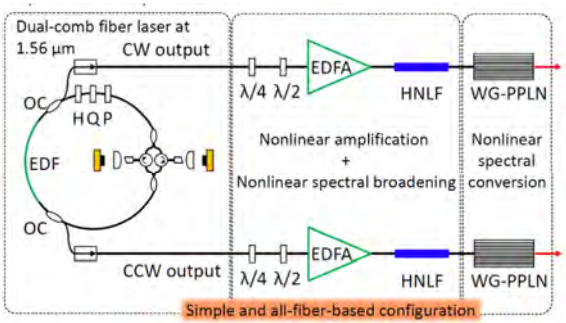


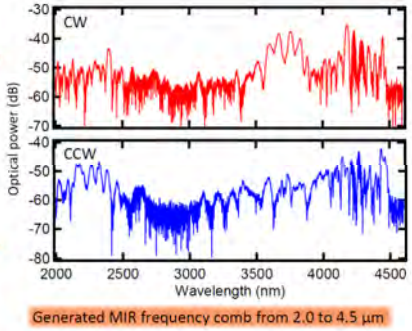
- 高精度制御が不要
- 実績のあるファイバコムベース
- 高コヒーレンス、fceo検出実証

Y. Nakajima, H. Ishii, Y. Kusumi, K. Yoshii, and K. Minoshima, JW2E.15, CLEO:2020 (2020)
李,浅原,Tian,吉井,加藤,中嶋,美濃島:応物春(2022)

デュアルコム・ファイバレーザーによる中赤外光発生

- 双方向デュアルコムレーザーによる一体型デュアルコム光源
- PPLN導波路を用いた広帯域コヒーレント中赤外コム発生

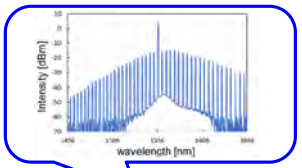




Y. Nakajima, H. Ishii, Y. Kusumi, K. Yoshii, and K. Minoshima, JW2E.15, CLEO:2020 (2020)

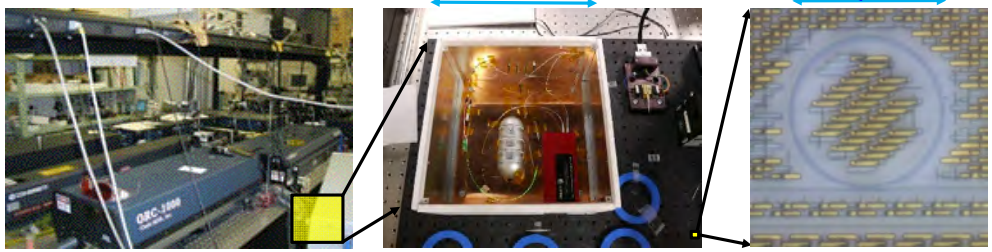
ファイバベースの一体型光源システムで中赤外光発生を実現

ダウンサイズは革新



~80 μm

~30 cm



90年代
「大型固体レーザー」
テーブルサイズ
毎回調整が必要、
長期連続運転は困難

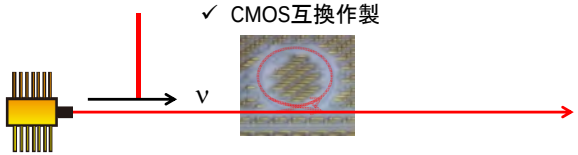
2000年頃~
「ファイバレーザー」
ノート・手のひらサイズ
ターンキー、屋外へ、
多彩な応用

これから
「マイクロコム」
チップサイズ
ユビキタス、
広範な応用へ

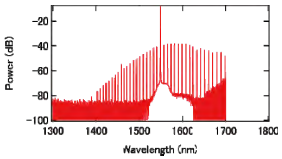
久世、西本

マイクロコムの研究（美濃島ユニット@徳島大学）

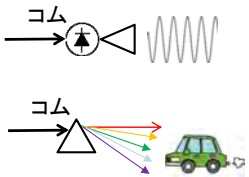
✓ CMOS互換作製



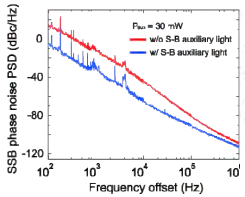
✓ > 100 GHzの間隔



Beyond 5G, LiDARを目指した研究を展開中

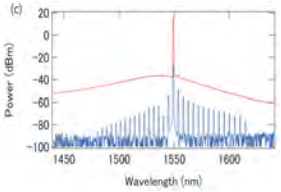


✓ THz発生と低雑音化



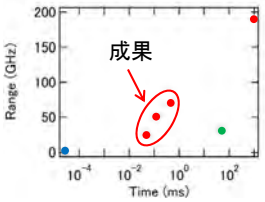
Opt. Lett. 47, 281 (2022) (Editor's pick).

✓ コムモード増幅



Opt. Exp. 30, 318 (2022).

✓ コムモードの高速掃引



Opt. Lett. 46, 3400 (2021).

高速分光・分析、新材料・デバイス創生

従来の分光・分析技術（都度構成が必要）

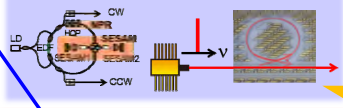
分光光度計
フーリエ変換赤外分光光度計(FTIR)
分光屈折率測定装置
分光エリプソメータ
厚さ測定装置
顕微レーザーラマン分光測定装置

一体化、マルチモーダル、高精度な相関、対象拡大、操作性向上、時間短縮、超小型化

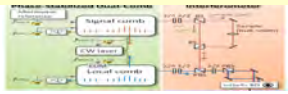
機能集積化システムへ

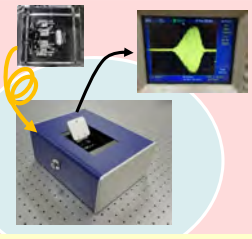
高速・広帯域・高感度・高機能分光・分析

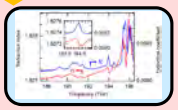
機能集積化光源



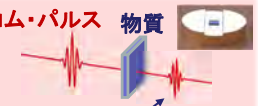
光コム分光技術
（ガス、材料、デバイス、応答、分布…）







コム・パルス　物質



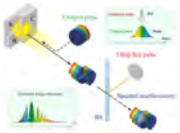
“光ネットワークアナライザ”：
光電場波形の直接取得。モデル不要

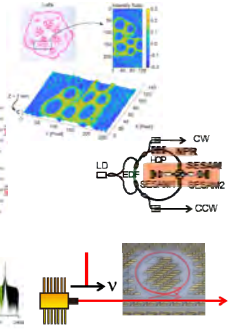
マルチモーダル、相関、ユビキタス、オンデマンド、物質材料の“血液検査”

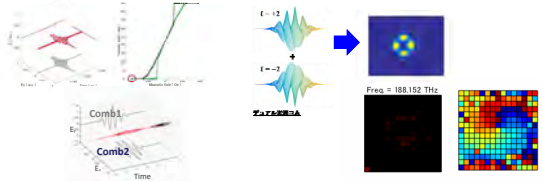
- 新材料研究に適する
- 対象や条件に広範囲に適応
- トータルな分光システム

光コム 『知的光シンセサイザ』

- 光波の精密制御・自在操作が可能に
  - 極限精度、ダイナミックレンジ、多次元、リアルタイム、アダプティブ、オンデマンド
- 光の優れた性質をそのまま用いる応用
  - 瞬時3次元イメージング
  - デュアルコム分光
  - 電場波形・位相制御を活用した光演算・計測
- 光源の進展が応用をさらに牽引
  - 波長拡大、簡便・ダウンサイズ







主な共同研究者・協力者（敬称略、当時の所属・役職）

- 電通大　美濃島研
  - 浅原彰文（助教）：固体分光
  - 加藤峰士（特任助教）：イメージング
  - 中嶋善晶（特任助教、現 東邦大）、徐博（特任助教、現 米民間）、田昊晨（研究員）：光源開発
  - 西山明子（特別研究員、現 産総研）：精密分光
  - **（修士卒）**宮野皓貴、牧野智大、生澤佳久、河井亮和、内田めぐみ、田中優理奈、石井大貴、寺田和博、吉田悟、近藤健一、王月、足立拓斗、安井英顕、秦裕也、楠美友悟、梁木琢也、柳澤奨太、森藤環、長谷川達也、佐久間茂喜、秋山誠志郎
  - **（現博士・修士・卒研）**藏田真太郎、李润敏、Prasad Koviri、田中拓帆、朱瑞宸、遠藤健、李嘉杰、阿久澤寛陽、石関政洋、長崎亮太、猫島靖久、布川楽士、日野圭人、長尾康生、小森孟、平野拳士朗
- 徳島大 pLED研究所　安井武史、久世直也、吉井一倫、西本健司：マイクロコム、赤外コム
- 産業技術総合研究所　稲場肇
- アメリカ　コロラド大 Thomas Schibli：信号検出
- 中国　清華大学　Guanhao Wu：距離測定

・JST, ERATO 美濃島『知的光シンセサイザ』
・科学研究費補助金　基盤S
・文科省QLEAP