

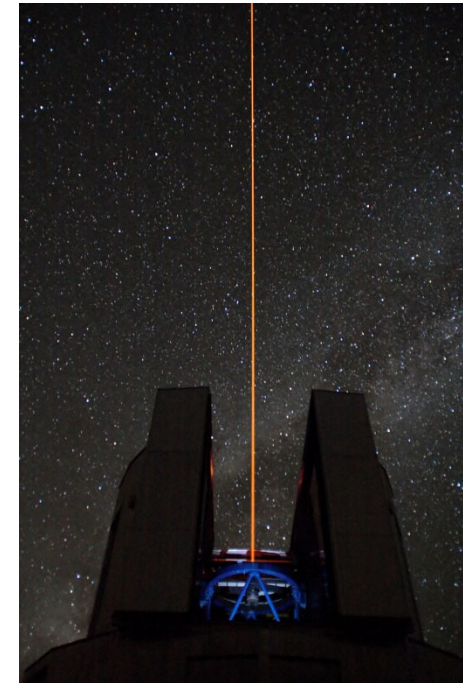
補償光学系と光学装置： 観測対象、揺らぎ、撮像系が相互に近接する 場合の安定性の向上

自然科学研究機構 国立天文台
先端技術センター
特任助教 服部雅之

2022年 1月 13日

概要

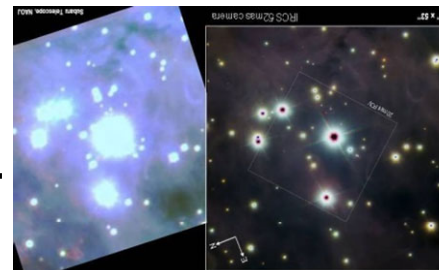
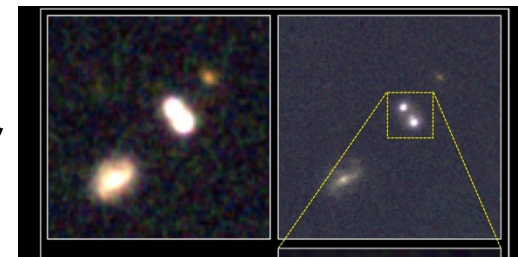
- 補償光学系: 光学的なボケの補正
 - 入射光波面の揺らぎ補正で像を改善
- 本発明は、補償光学系の精度と安定性を向上する。
- 着眼点は、
 - 被写体が無限遠にない場合
 - 揺らぎが被写体に近接する場合
 - それら位置関係が変化する場合
- 従来まで
 - 天文では、無限遠や遠方など
 - 他の応用でもそれに準じた設計



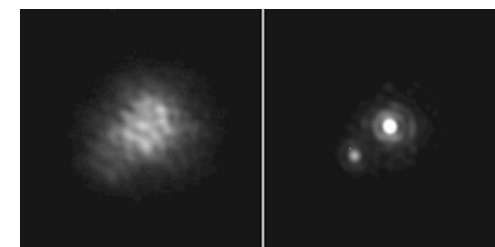
https://subarutelesc.ope.org/old/Pressrelease/2006/11/20/j_index.html

https://subarutelesc.ope.org/old/Pressrelease/2002/01/16/j_index.html

<https://subarutelesc.ope.org/jp/gallery/pressrelease/2011/07/06/195.html>

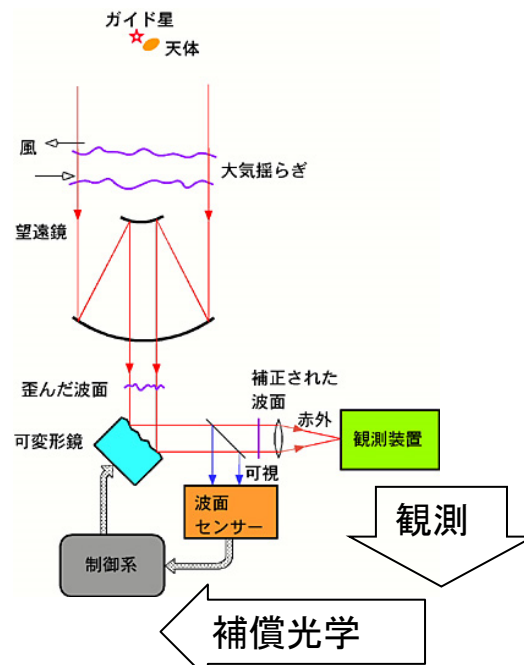


各図は国立天文台ウェブサイトより
(上図)すばる望遠鏡での観測
(下図各左)大気揺らぎでボケた像
(下図各右)補償光学による補正像



補償光学について

- 天文学で提案と実用化
 - 地上からの天体観測
 - 主に大気の揺らぎを補正する
- 画像処理と比較して、以下が可能
 - 光学分析(分光など)
 - 光の射出(レーザーなど)



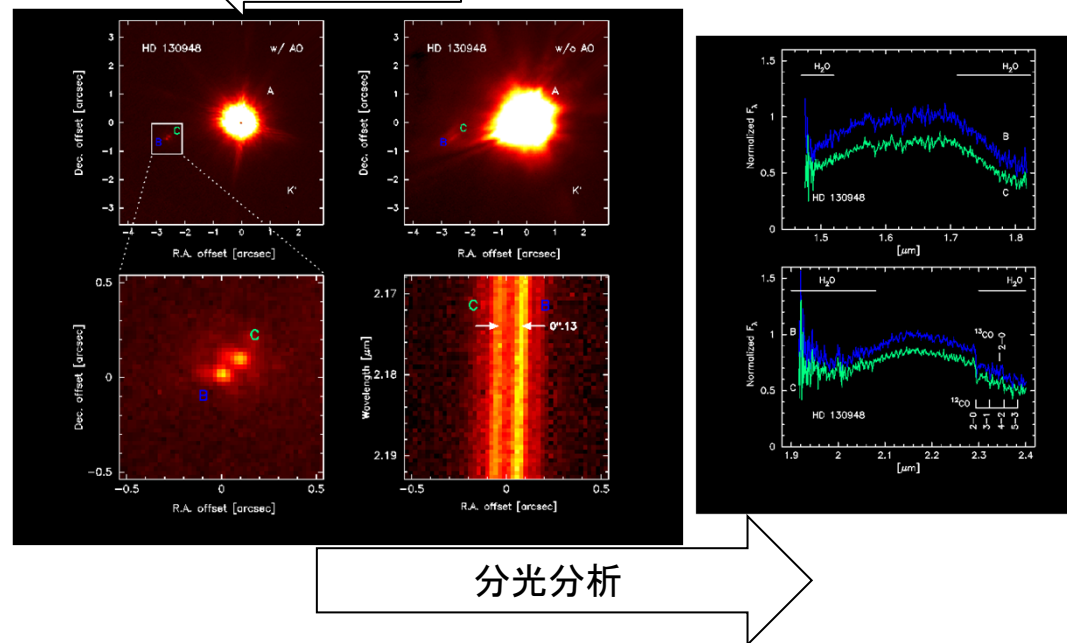
各図は国立天文台ウェブサイトより

https://subarutelescope.org/old/Pressrelease/2002/01/16/j_index.html

(上左図) 補償光学の図解

(下図) 補償光学による二重星像の分解

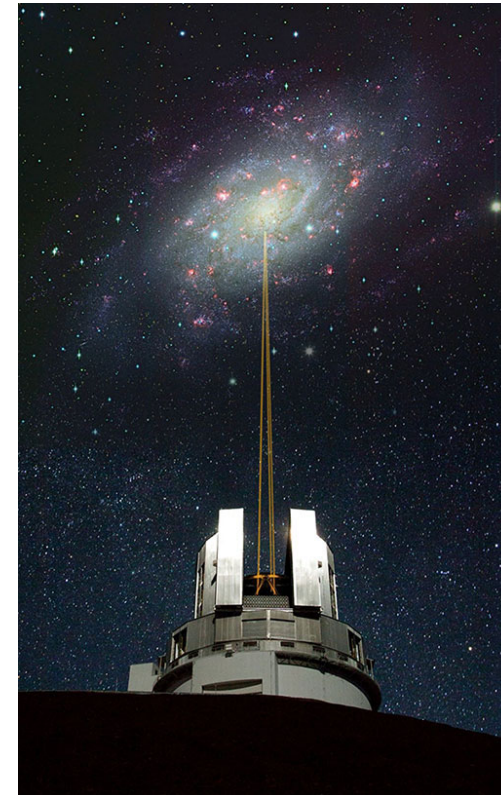
(上図右) 分光グラフ



分光分析

補償光学：近年の動向

- 高精度化
- 応用の増加
 - 眼底カメラ、生物観察用顕微鏡、通信など
- 要素デバイスの量産・市販
 - 可変形状鏡、位相変調器
 - 波面センサー
- 高精度で安定なシステム設計が望まれる



各図は国立天文台
ウェブサイトより

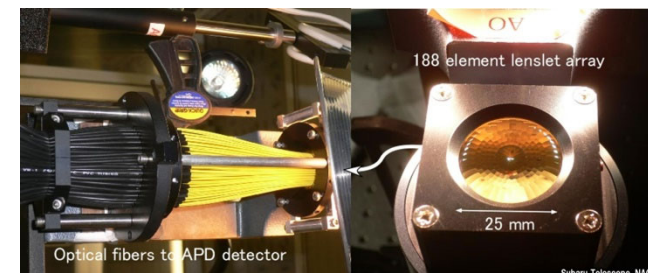
https://subarutelescope.org/jp/about/instrument/ultimate_subaru/index.html

https://subarutelescope.org/old/Pressrelease/2006/11/20/j_index.html

(上左図) 次世代補償光学系

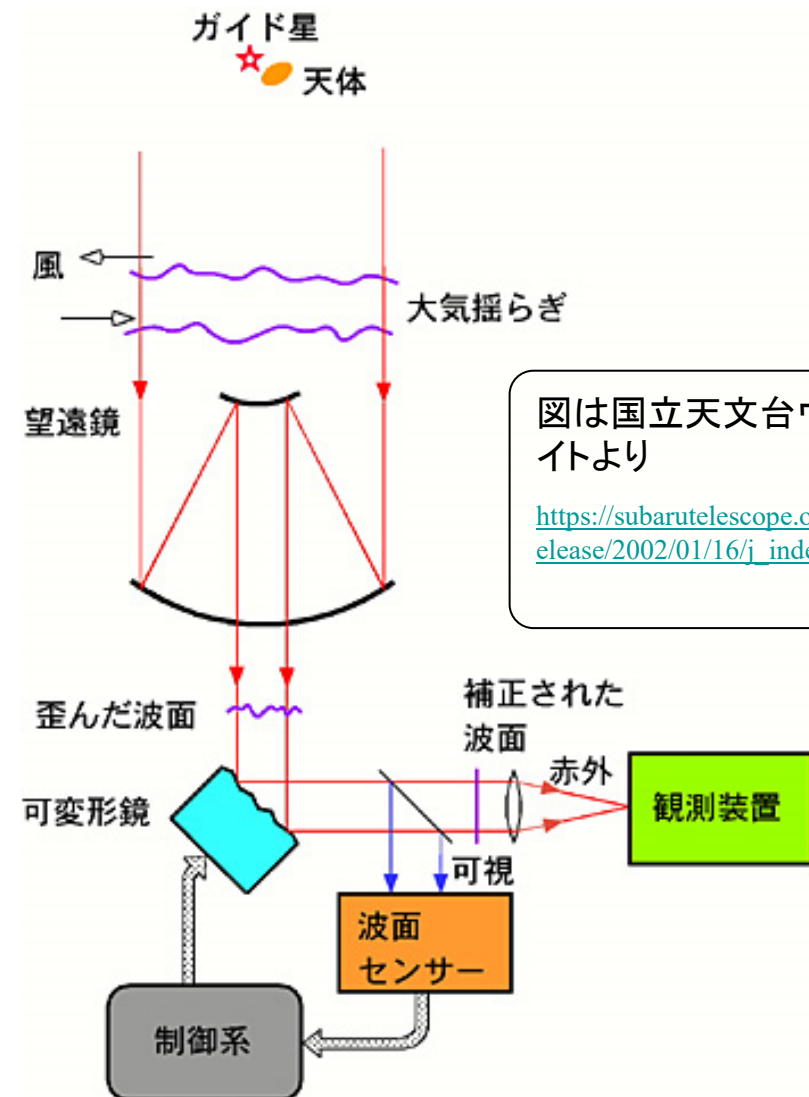
(上右図) 可変形鏡

(上図右) 波面センサー



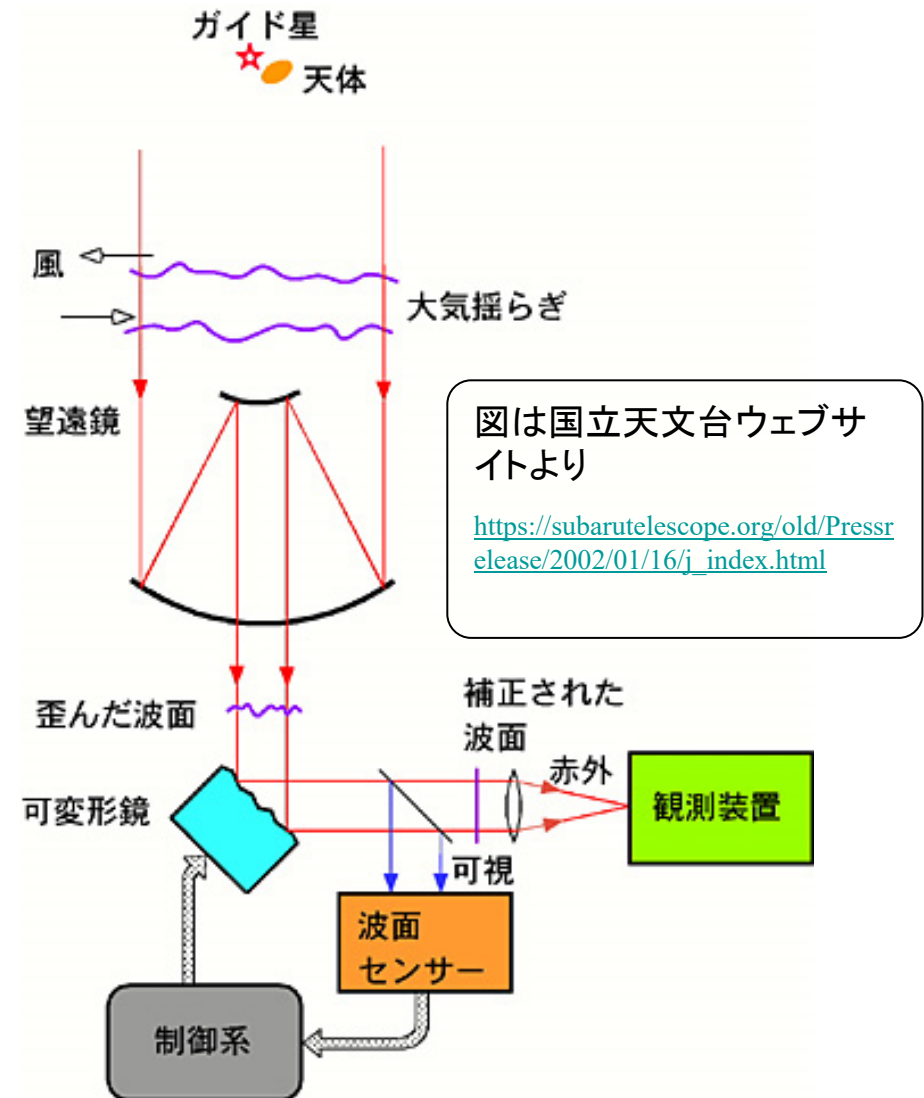
補償光学：精度と安定性

- 安定性と精度
- 問題と糸口
 - 補償光学をかけても「像が良くない」とき
 - 制御を強くしても、像が悪化し制御が不安定化



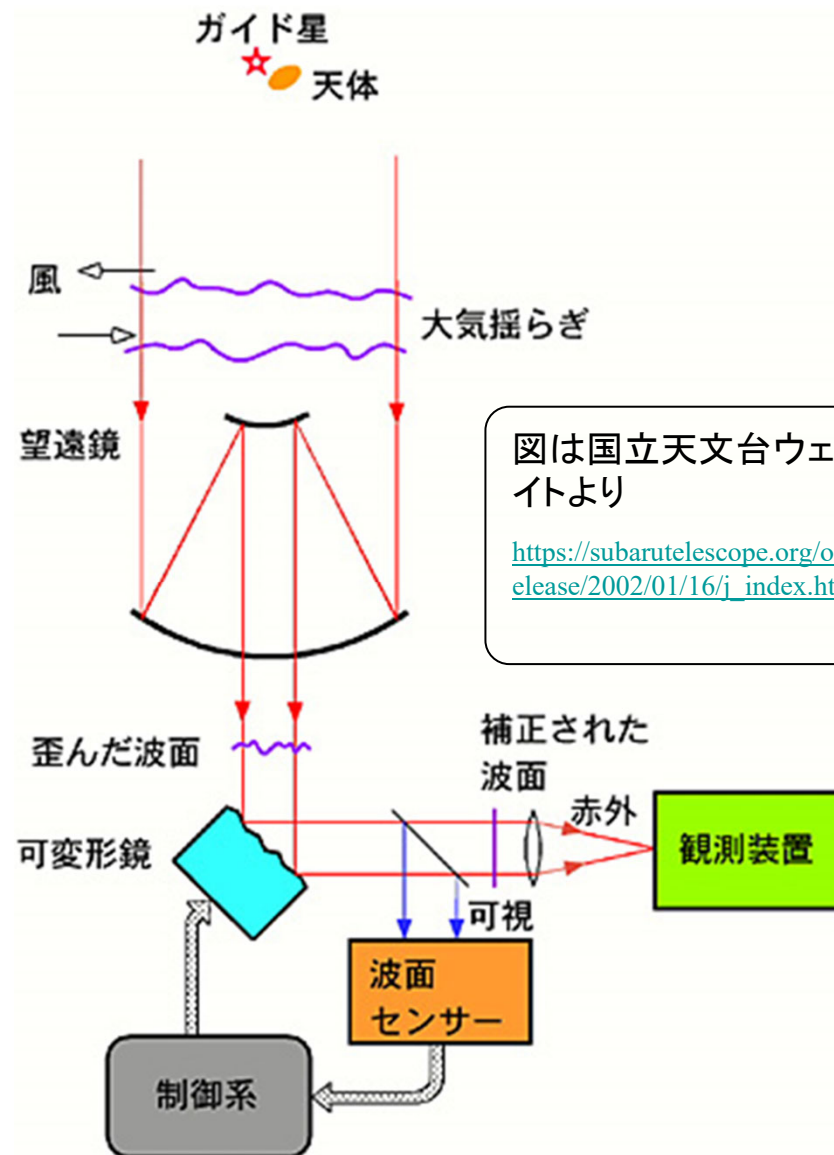
補償光学：精度と安定性

- 精度と安定性の根底に
測定・補正誤差
 - － 波面測定自体の誤差
は補正を乱し像が劣化
 - － > 光学的な誤差(遠方/
近接)は、光の回折・干
渉の影響で複雑に
- 光学設計の改良
 - － 顕微鏡応用から補償光
学の動作安定性を確認



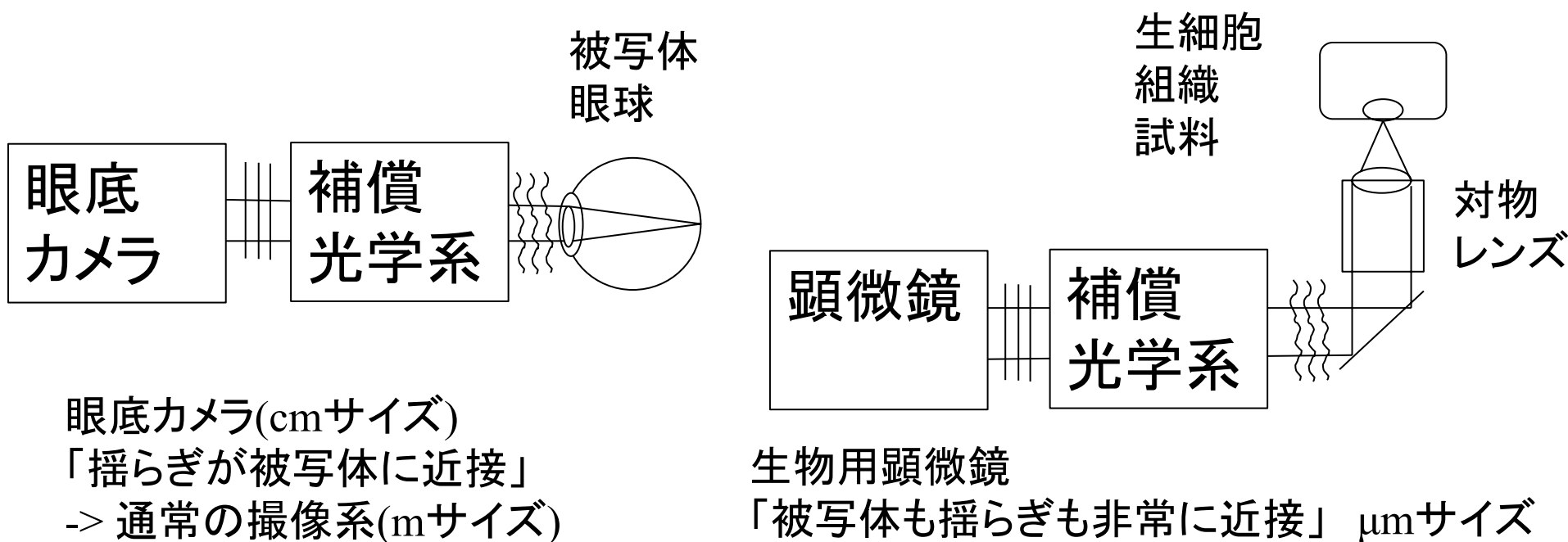
補償光学：従来技術の問題点

- 地上天体望遠鏡
 - 被写体：ほぼ、「無限遠に被写体」
 - 揺らぎ：主に、「被写体より近い遠方」
- 動作が安定しやすい
 - 系のスケールが大きく、光の回折・干渉・散乱の影響(シンチレーション)は比較的小



補償光学：従来技術の問題点

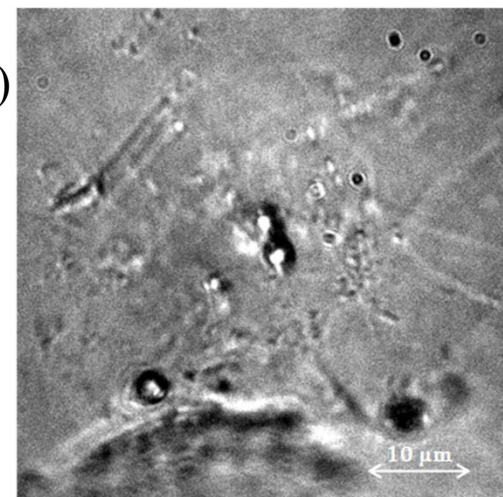
- 「有限距離の焦点と揺らぎ」
 - 対象のスケールが小さい
 - 光の回折・干渉、さらに、散乱性が強まる。(シンチレーション)、特に、顕微鏡



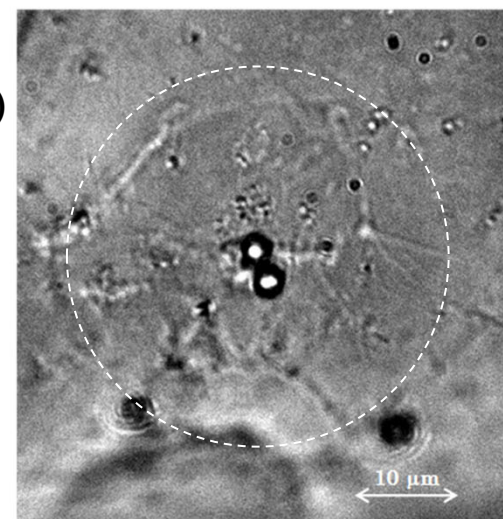
新技術の特徴

- 被写体や揺らぎまでの距離の調整に対応した光学系
 - 有限の距離にも対応
 - 距離変化にもズームレンズのような自在性
- 有限距離の被写体と揺らぎに対する性能が大幅に向上
 - 実験的に確認
 - 右図はタマネギ試料の細胞核

A
(従来)



B
(特許)



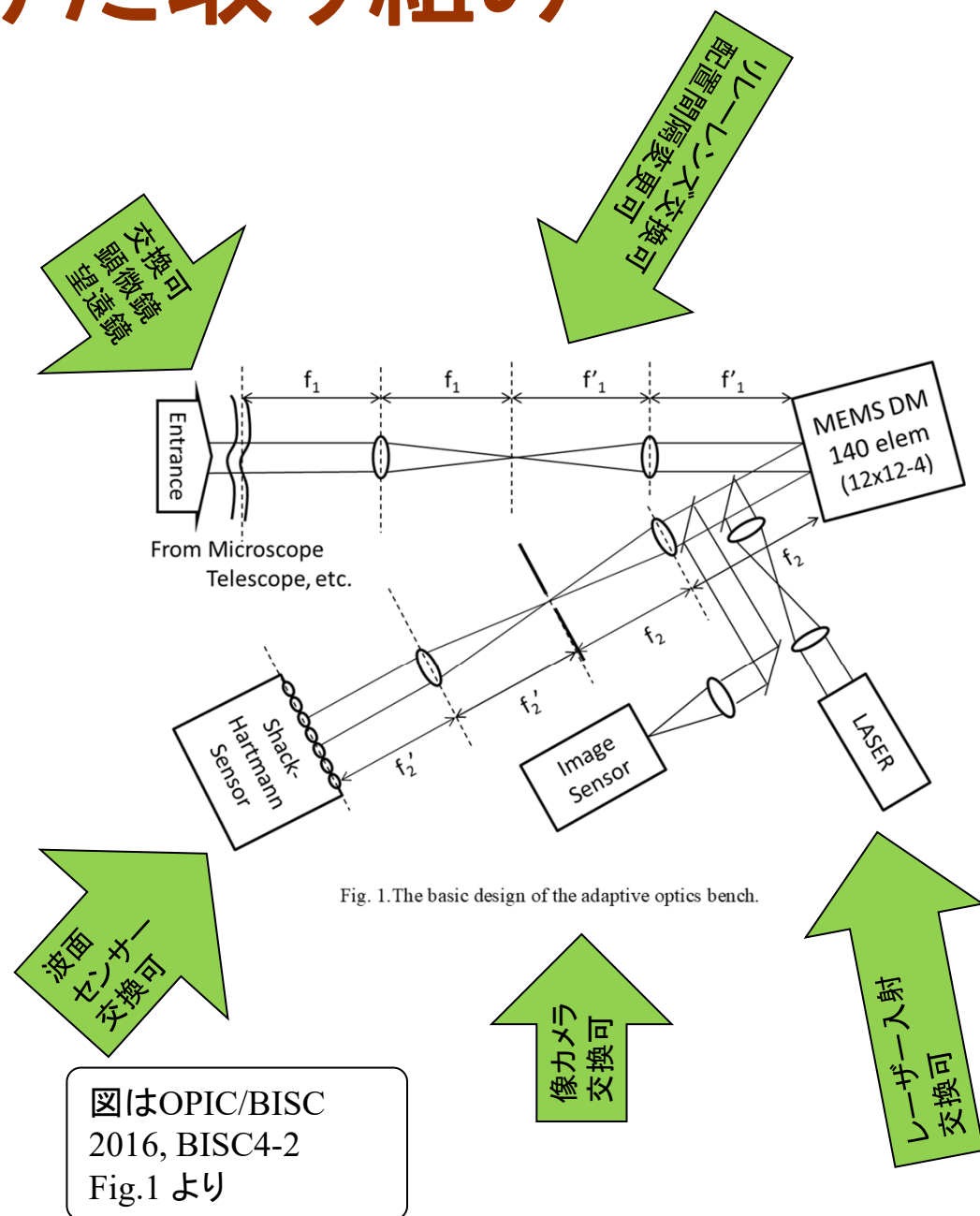
図は、服部ら、
PCT/JP2014/074837 Fig.41 より

想定される用途

- 顕微鏡：(試作機で確認している)
 - －> 走査式顕微鏡との組み合わせも期待
- 補償光学の既存の用途への展開も期待
 - －> 眼底カメラ等
- 新たな応用への期待
 - － 入射光と出射光の補正の効果が期待できる。
 - －> レーザー装置、計測装置等
 - － 像装置、望遠カメラ、望遠鏡 (天体以外)

実用化に向けた取り組み

- 試作機による検討
 - 汎用の実験ベンチ
- 顕微鏡構成
 - 特許明細書(図1)、高精度と安定性を確認
- 試作機の拡張性
 - 顕微鏡対物レンズを種々の光学系と交換可
 - 波面センサーの交換も可能



文献など

- (生物観察応用) Y. Tamada and M. Hattori, "Adaptive optics microscopy for fine imaging of live plant cells", SPIE Newsroom. DOI: 10.1117/2.1201602.006335 (2016).
- (動作実験) M. Hattori, et.al, "Artificial testing targets with controllable blur for adaptive optics microscopes" Optical Engineering, 56: 080502 (2017)
- (光学系構成) M. Hattori, "A Test Bench of General Purpose Adaptive Optics and its Application to Microscopy", Biomedical Imaging and Sensing Conference (BISC/OPIC), Yokohama (2016)
- (レーザー入射) 玉田 洋介, "葉緑体レーザーガイド星を用いた補償光学ライブイメージング", 光学, 日本光学会, 384. 第44巻 第10号 (2015年10月)
- (新方式波面センサーの実験) 玉田 洋介, 三浦 則明, 初見 洲人, 服部 雅之, "画像相関型補償光学によるユニバーサル生体深部高解像イメージングへの挑戦", 月刊OPTRONICS, 2021年12月号
- (新方式波面センサーの実験) Y.Ashida, Y.Honma, N.Miura, T.Shibuya, H.Kikuchi, Y.Tamada, Y.Kamei ,A.Matsuda, M. Hattori, "Imaging performance of microscopy adaptive-optics system using scene-based wavefront sensing", Journal of Biomedical Optics 25(12), (2020)

企業の皆様への期待

- 取得済み特許のライセンスの可能性
- 光学機器の技術を持つ企業との共同研究の可能性
 - 顕微鏡、望遠鏡、眼底カメラ、レーザー装置、等
 - 既存の補償光学装置の拡張、新規開発
- 試作機を用いた有効性の検討の可能性
 - 既存・新規の補償光学応用について、実験的な評価・検討

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称： 補償光学系及び光学装置
- 出願番号 : JP2013195943A, PCT/JP2014/074837
- 出願人 : 自然科学研究機構
- 発明者 : 服部雅之、玉田洋介、村田隆、亀井保博、
長谷部光泰、早野裕、大屋真

お問い合わせ先

自然科学研究機構事務局企画連携課

TEL 03-5425-1316

FAX 03-5425-2049

e-mail nins-sangaku@nins.jp