

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月11日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360037

研究課題名（和文） 系外惑星直接観測のための超高ダイナミックレンジ光学系の研究

研究課題名（英文） Very high dynamic range optics for direct detection of extra-solar planets

研究代表者

西川 淳 (NISHIKAWA JUN)

国立天文台・光赤外研究部・助教

研究者番号：70280568

研究成果の概要（和文）：系外惑星直接観測に必要な超高ダイナミックレンジを得る光学系として、非対称ナル干渉計(UNI)、補償光学、コロナグラフ、の高精度化に関する研究を行った。UNIの効果により、補償光学が $\lambda/100$ rms 精度の時に、約 $\lambda/600$ rms の実質的波面補正に成功し、コロナグラフの最終焦点像のノイズレベルを1桁以上低減した。8分割位相マスクコロナグラフは、10%の帯域で $2E-8$ のコントラストを得た。また、UNI部の安定化に4分割位相マスクが有効なことを示した。

研究成果の概要（英文）：We studied an unbalanced nulling interferometer (UNI), adaptive optics, and coronagraphs in order to obtain a very high dynamic range optics for direct detection of extra-solar planets. A $\lambda/600$ rms wavefront correction was made virtually when the accuracy of the adaptive optics was $\lambda/100$ rms thanks to the effect of the UNI, and a noise level of the focal image of the coronagraph was suppressed by more than one order of magnitude. An eight-octant phase mask showed a contrast of $2E-8$ with a bandwidth of 10 %. A four-quadrant phase mask was shown to function as a stable UNI.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	7,900,000	2,370,000	10,270,000
2010年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、応用光学・量子光学

キーワード：干渉計測、補償光学、ナル干渉計、系外惑星、光学赤外線天文学

1. 研究開始当初の背景

1995年以来、太陽系以外の惑星（系外惑星と呼ぶ）は、恒星のドップラー速度や明るさの変化などで間接的に約300個が確認され、明るい巨大惑星の直接撮像による検出が報告され始めた。系外惑星（特に地球型惑星）の直接検出と分光分析は現代天文学の最大の課題の1つとなっている。第2の地球の直

接検出には、惑星よりも極めて強い恒星の回折光を減光するコロナグラフ手法と、散乱光（スペckル雑音）を抑える $\lambda/10000$ rms 精度の波面計測・補正法を用いた、10桁以上の広いダイナミックレンジを持つ撮像光学システムが必要であり、国内外で研究が行われ、国際競争と協力の動きが激しい。

提案されているコロナグラフ手法は20種

類以上にのぼりさらに増加中で、研究代表者からも広帯域で高消光比の2種類の新型コロナグラフ(2段立体サニャック干渉計、および、8分割位相マスク)の着想を得ていた。一方、波面計測・補正法は数種類しかなく、そのうち暗い恒星光で実用的なのは、研究代表者らの発明した、非対称ナル干渉計を用いる方法のみである。ただし、本研究開始当初では、最低限の原理実証が行われたところであり、約 $\lambda/500$ rms 相当の波面精度と4桁のダイナミックレンジしか得られておらず、さらに高い波面精度を得て高いダイナミックレンジを実証していく必要があった。

2. 研究の目的

本研究の特徴である、非対称ナル干渉計(UNI: Unbalanced Nulling Interferometer)と、位相振幅補正(PAC: Phase and Amplitude Correction)補償光学、を用いた高ダイナミックレンジ光学系は、「初段補償光学」+「UNI」+「PAC補償光学」+「コロナグラフ」、という4段階の複合手法で、波面誤差補正と恒星光消去を交互に2回ずつ行うものである(図1)。2つ補償光学の波面センシングは十分な光量がある段階で行われ、暗い恒星での動作に問題がない。UNIでは、光の打ち消し合う干渉によって恒星光を除去するナル(null)干渉計において、打ち消し合いを故意に不完全にして恒星光の減光率を2桁程度に抑えれば、波面誤差が約10倍拡大された通常の波面が観測される。その結果、PACによって波面誤差の再測定・再補正が可能になり、初段補償光学の性能の限界の約1/10まで波面誤差を補正できる。この手法によれば、 $\lambda/10000$ rms 相当の波面補正が $\lambda/1000$ rms 精度の光学系によって達成でき実現性が高まる。本研究では、主にUNI部とPAC部の波面精度を向上させ、実証レベルを最終目標である $\lambda/10000$ rms 相当に近づけ、スペックルノイズを低減する。

一方、新型のコロナグラフである2段立体サニャックと8分割位相マスクは、単体の性能を実証し、各部の進展に応じてUNI-PACと結合して最終目標である10桁の高いダイナミックレンジを目指す。

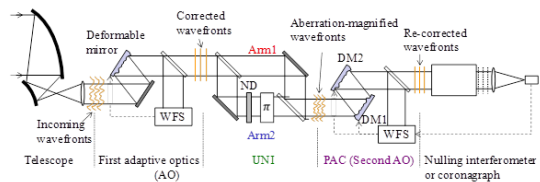


図1. UNI-PAC法の構成(Yokochi et al. 2011)

3. 研究の方法

本研究の実験光学系は、人工光源(半導体レーザー)、初段補償光学なし、UNI部、PAC

部(可変形鏡+シャックハルトマン波面センサー(マイクロレンズアレイとCCDカメラ))、コロナグラフ部(立体サニャック干渉計とカメラ)、で構成される。

UNI部では、構造的な安定性を高め、偏光素子等の光学系の高精度化を進め、干渉後の残存波面を高精度に安定化させる。また、現行とは違う安定な干渉方式への変更も検討する。

PAC部は、可変形鏡の高精度化、波面センサーと可変形鏡の光学的マッチング、制御アルゴリズム、などの検討・改良で、補償光学系の高精度化を図り、高い波面補正精度を達成してスペックルノイズレベルの低減を追求する。

コロナグラフ部は、新型高性能の、2段立体サニャック法と8分割位相マスク法の単体の実験を進め、広がった光源に強い特性の確認、アクロマティック性の確認、を進める。良好な特性が確認されれば、UNI-PACの後置コロナグラフに置き換える。

全体を通して、各光学素子の高精度化や素子設置の安定化を進める。また、必要に応じて数値実験によって、UNI部の方式検討、UNI-PACのアクロマティック性の検討、2段立体サニャック法や8分割位相マスク法の検討、全光学系を通した実験値との比較、などを行い、高精度化の参考とする。以上を総合して、10桁のダイナミックレンジを目指した実証実験を推進する。

4. 研究成果

UNI部は、マッハーツェンダー型の非対称ナル干渉計を安定化し、約6倍の波面誤差の拡大現象が計測され、実験値は2つの波面に部分相関がある場合として説明された。

PAC部の制御は、可変形鏡と波面センサーの光学的マッチングや制御アルゴリズムを改善し、可変形鏡の制御精度を向上させた結果、波面センサーにおける残差値として約 $\lambda/1000$ rmsのレベルに制御可能になった。

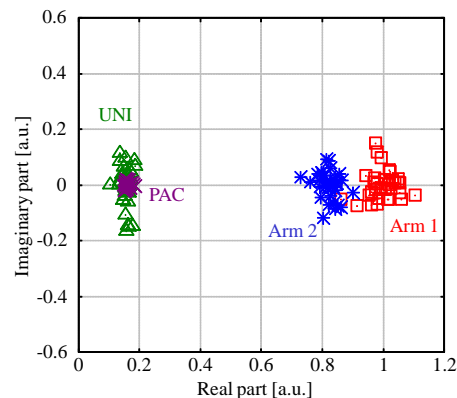


図2. UNI-PACでの波面電場の変化(Yokochi et al. 2011)

UNI-PAC とコロナグラフ全光学系での実験では、入射波面誤差 $\lambda/100$ rms において、UNI による位相・振幅誤差の約 6 倍の拡大後に PAC で $\lambda/600$ rms 相当の波面補正が成され (図 2)、その時に、立体サニャックコロナグラフを結合した焦点面のスペックルレベルで 0.073 倍の低減が確認され、極めて理論に近い形でこの方式の効果が実証されるに至った (図 3)。ただし、最終像面のスペックルノイズが約 5 桁で頭打ちとなる振舞いから、波面センサーとコロナグラフ部の最終波面には $\lambda/100$ rms (UNI 前で $\lambda/600$ rms 相当) レベルの差異のあることが推定される。この現象は、偏光子や可変形鏡などの光学素子の微細な構造によると考えられ、可変形鏡の追研磨を進めたが十分な解決には至らず、さらに良質な素子の開発、波面センシングをより後方で行う、等の研究が今後の発展に必要である。

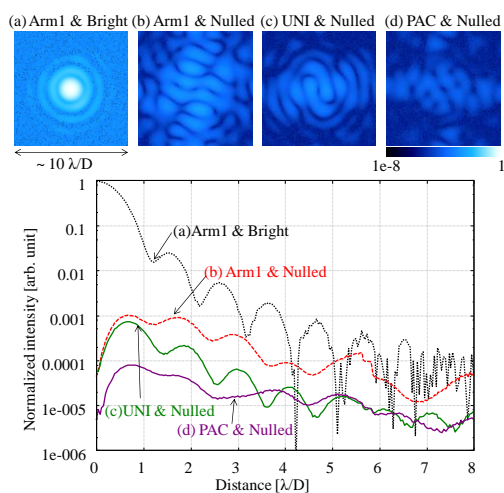


図 3. UNI-PAC とコロナグラフを用いたスペックルレベルの低減 (Yokochi et al. 2011)

その他にも、コロナグラフ単体実験の成果が得られている (図 4)。立体サニャックは、波面誤差の低減や 2 段化では偏光の扱いが難しいことが分かった。8 分割位相マスクコロナグラフは、アクロマティック性の証明やフォトニック結晶の高品質が注目され、米国 NASA/JPL での試験が行われ、真空中の高コントラスト実験装置において、10%の帯域で世界第 3 位の $2E-8$ のコントラストを得た。

UNI 部のさらなる安定化のため、新たに発案した 4 分割位相マスクを用いた非対称ナル干渉計を単体で試行し、時間的に高い安定性を得るとともに、理論予測および数値シミュレーションとも一致する実験結果として約 10 倍の波面誤差の拡大現象が確認されてきている。

UNI の内部の波面誤差は、補償光学の補正が及ばない領域と考えられていたが、その上

流にある初段補償光学と下流にある PAC 部の波面センサーを使用すれば、UNI で干渉する 2 光波がマッハツェンダー型の場合は横ズレした関係にあることを用いて波面の位相を一致させて除去可能なことを見出し、数値シミュレーションと実験で原理を確認した。これらの新たな方法も今後の発展が期待できる。

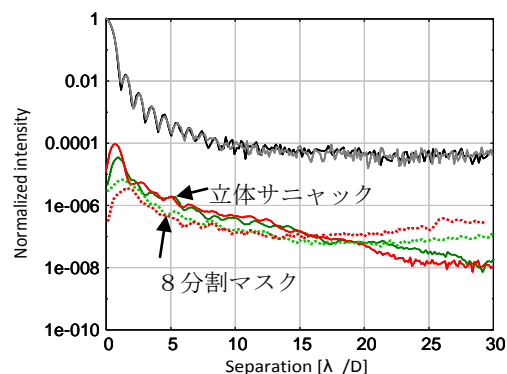


図 4. 8 分割位相マスクと立体サニャックコロナグラフの 2 波長の焦点像プロフィール

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 17 件)

- ① D. Mawet et al. (43 人中 28 番目に J. Nishikawa, 36 番目に M. Tamura), Taking the vector vortex coronagraph to the next level for ground- and space-based exoplanet imaging instruments: review of technology developments in the USA, Japan, and Europe (Invited paper), Proc. of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 8151, 815108-1-815108-14, 査読有 (SOC), (2011)
DOI:10.1117/12.896059
- ② K. Yokochi, N. Murakami, J. Nishikawa, L. Abe, M. Tamura, A. V. Tavrov, M. Takeda, and T. Kurokawa, Speckle noise suppression with unbalanced nulling interferometer in a high-contrast imaging system, Optics EXPRESS, 19, 2011, 4957-4969, 査読有.
DOI:10.1364/OE.19.004957
- ③ J. Nishikawa, K. Yokochi, N. Murakami, L. Abe, T. Kotani, M. Tamura, T. Kurokawa, A. V. Tavrov, M. Takeda, and H. Murakami, A coronagraph system with unbalanced nulling interferometer: progress of wavefront correction, Proc. of SPIE, 7731, 2010, 401-406, 査読有

- (SOC).
DOI:10.1117/12.856945
- ④ N. Murakami, K. Yokochi, J. Nishikawa, M. Tamura, T. Kurokawa, M. Takeda, and N. Baba, Polarization interferometric nulling coronagraph for high-contrast imaging, *Applied Optics*, 49, 2010, D106-D114, 査読有
DOI:10.1364/AO.49.00D106
- ⑤ N. Murakami, J. Nishikawa, K. Yokochi, M. Tamura, N. Baba, L. Abe, Achromatic eight-octant phase-mask coronagraph using photonic crystal, *The Astrophysical Journal*, 714, 2010, 772-777, 査読有
DOI:10.1088/0004-637X/714/1/772
- ⑥ N. Murakami, T. Inabe, T. Komatsu, J. Nishikawa, N. Hashimoto, M. Kurihara, N. Baba, M. Tamura, Polarization-interferometric eight-octant phase-mask coronagraph using ferroelectric liquid crystal for exoplanet detection, *Proc. of SPIE*, 7731, 2010, 4E1-4E6, 査読有(SOC)
DOI:10.1117/12.856395
- ⑦ N. Murakami, O. Guyon, F. Martinache, T. Matsuo, K. Yokochi, J. Nishikawa, M. Tamura, T. Kurokawa, N. Baba, F. Vogt, V. Garrel, T. Yoshikawa, An eight-octant phase-mask coronagraph for the Subaru, coronagraphic extreme AO (SCEXAO) system: system design and expected performance, *Proc. of SPIE*, 7735, 2010, 331-336, 査読有
DOI:10.1117/12.858116
- ⑧ J. Nishikawa, K. Yokochi, N. Murakami, L. Abe, T. Kotani, M. Tamura, T. Kurokawa, A. V. Tavrov, M. Takeda, A coronagraph with an unbalanced nulling interferometer and adaptive optics, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, 430, 2010, 513-514, 査読無
<http://aspbooks.org/custom/publications/paper/430-0513.html>
- ⑨ Murakami, N.; Nishikawa, J.; Yokochi, K.; Tamura, M.; Baba, N.; Hashimoto, N.; Abe, L., Eight-octant Phase-mask Coronagraph for Detecting Earth-like Exoplanets around Partially Resolved Stars, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, 430, 2010, 510-512, 査読無
<http://aspbooks.org/custom/publications/paper/430-0510.html>
- ⑩ Enya, K.; Kotani, T.; Nakagawa, T.; Kataza, H.; Komatsu, K.; Uchida, H.; Haze, K.; Higuchi, S.; Miyata, T.; Sako, S.; Nakamura, T.; Yamashita, T.; Narita, N.; (32人中14番目 Tamura, M.; 15番目 Nishikawa, J.), *SPICA Coronagraph, Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, 430, 2010, 284-290, 査読無
<http://aspbooks.org/custom/publications/paper/430-0284.html>
- ⑪ Yokochi, K., Tavrov, V., A., Nishikawa, J., Murakami, N., Abe, L., Tamura, M., Takeda, M., Kurokawa, T., Achromatic deep nulling with a three-dimensional Sagnac interferometer, *Optics Letters*, 34, 2009, 1985-1987, 査読有.
DOI:10.1364/OL.34.001985
- ⑫ Murakami, N., Ohishi, N., Nishikawa, J., Yoshizawa, M., Polarimetric stellar interferometry by use of birefringent retarders, *Applied Optics*, 48, 2009, 5774-5781, 査読有.
DOI:10.1364/AO.48.005774
- ⑬ Nishikawa, J., Yokochi, K., Murakami, N., Abe, L., Kotani, T., Tamura, M., Kurokawa, T., Tavrov, A. V., Takeda, M., Coronagraph Methods on Precise Wavefront Compensation (UNI-PAC) and Deep Achromatic Nulling, *Exoplanets and disks: their formation and diversity*, *AIP Conf. Proc.*, 1158, 2009, 365-368, 査読無
DOI:10.1063/1.3215897
- ⑭ Murakami, N., Yokochi, K., Nishikawa, J., Tamura, M., Baba, N., Uemura, R., Hashimoto, N., Abe, L., Tavrov, A. V., Kurokawa, T., Takeda, M., Development of fourth-order nulling coronagraphs for partially resolved stars, *Exoplanets and disks: their formation and diversity*, *AIP Conf. Proc.*, 1158, 2009, 397-398, 査読無
DOI:10.1063/1.3215908
- ⑮ Suzuki, R., Tamura, M., Suto, H., Morino, J.-I., Hashimoto, J., Kudo, T., Kandori, R., Murakami, N., Nishikawa, J., 他13名, HiCIAO: A High-contrast Instrument for the Next Generation Subaru Adaptive Optics, *Exoplanets and disks: their formation and diversity*, *AIP Conf. Proc.*, 1158, 2009, 293-298, 査読無
DOI:10.1063/1.3215872.
- 他2件
- [学会発表] (計32件)
- ① 西川淳、田村元秀、横地界斗、黒川隆志、村上尚史、ABE Lyu、小谷隆行、村上浩、

- TAVROV Alexander, 武田光夫, 非対称ナル干渉と補償光学を融合した系外惑星直接検出のための超高コントラスト撮像法(5)、日本天文学会 2012 年春季年会、2012 年 3 月 21 日、龍谷大学 (京都府)
- ② 堀江正明、大矢正人、西川淳、田村元秀、藤井紫麻見、村上尚史、ABE Lyu、黒川隆志、村上浩、系外惑星直接撮像のための高コントラスト光学系の研究・初段補償光学による干渉計内部の波面補正日本天文学会 2012 年春季年会 2012 年 3 月 20 日 龍谷大学 (京都府)
- ③ 大矢正人、堀江正明、西川淳、田村元秀、藤井紫麻見、ABE Lyu、村上尚史、黒川隆志、小谷隆行、村上浩、系外惑星直接観測のためのコロナグラフにおけるダークゾーン法を併用した補償光学制御法 日本天文学会 2012 年春季年会 2012 年 3 月 20 日 龍谷大学 (京都府)
- ④ 西川淳、田村元秀、周藤浩士、西山正吾、森野潤一、神戸栄治、泉浦秀行、水野陽介、井上真嘉、柏木謙、黒川隆志、権静美、末永拓也、IRD チーム 赤外ドップラー分光器の光ファイバーリンクと光周波数コム較正光源 (2) 日本天文学会 2012 年春季年会 2012 年 3 月 21 日 龍谷大学 (京都府)
- ⑤ 小林 拓自、西川 淳、田中 洋介、黒川隆志、柏木 兼、村上 尚史、馬場 直志、橋本 信幸、4 分割位相マスクによる非対称ナル干渉計、第 59 回応用物理学関係連合講演会、2012 年 3 月 18 日、早稲田大学 (東京都)
- ⑥ 西川淳、田村元秀、周藤浩士、西山正吾、森野潤一、神戸栄治、泉浦秀行、水野陽介、井上真嘉、柏木謙、黒川隆志、権静美、末永拓也、IRD チーム 赤外線ドップラー分光器の光ファイバーリンクと光周波数コム較正光源 日本天文学会 2011 年春季年会 2011 年 9 月 20 日 鹿児島大学 (鹿児島県)
- ⑦ 村上尚史、西川 淳、W. A. Traub、D. Mawet、D. C. Moody、B. D. Kern、J. T. Trauger、E. Serabyn、田村元秀、馬場直志、村上浩、High Contrast Imaging Testbed (HCIT) を用いた 8 分割フォトニック結晶マスクコロナグラフの実証実験、2011 年 9 月 20 日、鹿児島大学 (鹿児島県)
- ⑧ 西村透、横地界斗、黒川隆志、西川淳、田村元秀、Alexandre Tavrov、武田光夫、村上浩、立体サニャック干渉計による白色光ナリング、日本天文学会 2011 年春季年会、2011 年 3 月 17 日、つくば大学 (茨城県)
- ⑨ 堀江正明、藤井紫麻美、西川淳、系外惑星直接観測のための干渉光学システム、日本天文学会 2011 年春季年会、2011 年 3 月 18 日、つくば大学 (茨城県)
- ⑩ 横地界斗、黒川隆志、西川淳、系外惑星直接観測のための干渉光学システム(招待講演)、レーザ学会学術講演会第 31 回年次大会、2011 年 1 月 10 日、電気通信大学 (東京都)
- ⑪ 西川淳、田村元秀、横地界斗、黒川隆志、村上尚史、ABE Lyu、小谷隆行、村上浩、TAVROV Alexander、武田光夫、非対称ナル干渉法と高コントラスト撮像法、第 11 回宇宙科学シンポジウム、2011 年 1 月 6 日、宇宙航空開発研究機構/宇宙科学研究本部 (神奈川県)
- ⑫ 横地界斗、黒川隆志、西川淳、太陽系外惑星直接観測のための干渉光学システム、第 7 回東京農工大学・電気通信大学合同シンポジウム、2010 年 12 月 11 日、電気通信大学 (東京都)
- ⑬ Enya, Keigo et al. (33 人中 14 番目 Tamura, M.; 15 番目 Nishikawa, J.), SPICA coronagraph for the detection and characterization of exo-planets, 38th COSPAR Scientific Assembly, 2010 年 7 月 15 日, Bremen (Germany)
- ⑭ Narita, Norio et al. (35 人中 16 番目 Tamura, M.; 17 番目 Nishikawa, J.), SPICA Capability for Studying Transiting Exoplanets, 38th COSPAR Scientific Assembly, 2010 年 7 月 15 日, Bremen (Germany)
- ⑮ 西川 淳、田村元秀、横地界斗、黒川隆志、村上尚史、ABE Lyu、小谷隆行、村上 浩、TAVROV Alexander、武田光夫、非対称ナル干渉と補償光学を融合した系外惑星直接検出のための超高コントラスト撮像法(4)、日本天文学会、2010 年 3 月 25 日、広島大学 (広島県)
- ⑯ 村上尚史、西川 淳、田村元秀、横地界斗、黒川隆志、馬場直志、ABE Lyu、村上 浩、8 分割フォトニック結晶マスクコロナグラフの性能評価、日本天文学会 2010 年春季年会、2010 年 3 月 25 日、広島大学 (広島県)
- ⑰ 小谷隆行、西川 淳、大石奈緒子、高見英樹、TMT と光赤外線干渉計: 超高角分解能・コントラスト観測によるサイエンス、日本天文学会 2010 年春季年会、2010 年 3 月 27 日、広島大学 (広島県)
- ⑱ Yokochi, K.、Nishikawa, J.、Murakami, N.、Abe, L.、Kotani, T.、Tamura, M.、Tavrov, V.、A.、Takeda, M.、Kurokawa, T.、High dynamic range coronagraph system for direct detection of exo-planets, 第 6 回太陽系外惑星大研究会、2010 年 1 月 19 日、国立天文台 (東京都)
- ⑲ 村上尚史、稲辺 剛、小松智彦、西川 淳、橋本信幸、栗原 誠、馬場直志、田村元秀、Laboratory demonstrations of liquid-

- crystal eight-octant phase-mask coronagraph, 第 6 回太陽系外惑星大研究会, 2010 年 1 月 19 日, 国立天文台 (東京都)
- ⑳ 横地界斗, 黒川隆志, 西川 淳, 田村元秀, 村上尚史, ABE Lyu, 小谷隆行, 村上 浩, TAVROV Alexander, 武田光夫, 系外惑星直接観測のための高ダイナミックレンジコロナグラフシステム, 第 10 回宇宙科学シンポジウム, 2010 年 1 月 8 日, 宇宙航空開発研究機構/宇宙科学研究本部 (神奈川県)
- ㉑ 村上尚史, 横地界斗, 西川 淳, 田村元秀, 馬場直志, 稲辺 剛, 橋本信幸, 栗原 誠, ABE Lyu, 村上 浩, 系外惑星探査のための 8 分割位相マスクコロナグラフ, 第 10 回宇宙科学シンポジウム, 2010 年 1 月 8 日, 宇宙航空開発研究機構/宇宙科学研究本部 (神奈川県)
- ㉒ 田村元秀, 西川 淳, オリビエギヨン, 小久保英一郎, 芝井 広, 深川美里, 村上浩, 中川貴雄, 片坐宏一, 塩谷圭吾, 馬場直志, 村上尚史, 他, JTPF ワーキンググループ, 地球型系外惑星探査ミッション, 第 10 回宇宙科学シンポジウム, 2010 年 1 月 8 日, 宇宙航空開発研究機構/宇宙科学研究本部 (神奈川県)
- ㉓ 西川 淳, 系外惑星直接観測のための高精度波面補償 (招待講演), Optics & Photonics Japan 2009 (日本光学会年次学術講演会) シンポジウム, デジタルオプティクス研究の現状と展望, 2009 年 11 月 25 日, 朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター (新潟県)
- ㉔ 横地界斗, 西川淳, 村上尚史, アベリュウ, 田村元秀, 黒川隆志, 非対称ナル干渉計と補償光学によるスペックル雑音の低減, Optics & Photonics Japan 2009 (日本光学会年次学術講演会), 2009 年 11 月 25 日, 朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター (新潟県)
- ㉕ Nishikawa, J., Yokochi, K., Murakami, N., Abe, L., Kotani, T., Tamura, M., Kurokawa, T., Tavrov, A. V., Takeda M., A Coronagraph with an Unbalanced Nulling Interferometer and Adaptive Optics, Pathways towards habitable planets 2009 Sept 14-1 Cosmo Caixa, Barcelona, Spain
- ㉖ Murakami, N., Nishikawa, J., Yokochi, K., Tamura, M., Baba, N., Hashimoto, N., Abe, L., Eight-octant phase-mask coronagraph for detecting Earth-like exoplanets around partially resolved stars, Pathways towards habitable planets 2009 Sept 14-18 Cosmo Caixa, Barcelona, Spain
- ㉗ Murakami, N., Baba, N., Nishikawa, J., Yokochi, K., Tamura, M., Hashimoto, N., Abe, L., Eight-Octant Phase-Mask Coronagraph by Using Liquid Crystal and Photonic Crystal Devices, OIE '09 The Eighth Japan-Finland Joint Symposium on Optics in Engineering, 2009 Sept 3-4, Morito memorial Hall, Tokyo, Japan
- ㉘ Yokochi, K., Nishikawa, J., Murakami, N., Abe, L., Kotani, T., Tamura, M., Tavrov, V., A., Takeda, M., Kurokawa, T., High dynamic range optical system for direct detection of exo-planets by unbalanced nulling interferometer and adaptive optics, Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), 2009 May 31-June-5, Baltimore Convention Center, Baltimore, U.S.A.
- ㉙ 横地界斗, 村上尚史, 西川淳, アベリュウ, 小谷隆行, 田村元秀, タブロフアレキサンダー, 武田光夫, 黒川隆志, 系外惑星直接観測のための高精度波面補正法を用いた高ダイナミックレンジ光学システム, 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 2009 年 4 月 1 日, 筑波大学 (茨城県)

他 3 件

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西川 淳 (NISHIKAWA JUN)
国立天文台・光赤外研究部・助教
研究者番号: 70280568

(2) 研究分担者

黒川 隆志 (KUROKAWA TAKASHI)
東京農工大学・工学研究院・教授
研究者番号: 40302913
(H22→H23: 連携研究者)

(3) 連携研究者

武田 光夫 (TAKEDA MITSUO)
電気通信大学・電気通信学部・教授
研究者番号: 00114926
田村 元秀 (TAMURA MOTOHIDE)
国立天文台・光赤外研究部・准教授
研究者番号: 00260018