

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360029

研究課題名(和文)地球型の系外惑星探索をめざした天文コムによる高精度分光の研究

研究課題名(英文)Highly precise spectrograph based on astro-comb for exoplanet finder

研究代表者

黒川 隆志 (KUROKAWA, TAKASHI)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・名誉教授

研究者番号：40302913

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,900,000円、(間接経費) 4,770,000円

研究成果の概要(和文)：周波数安定化レーザー、光パルスシンセサイザと高非線形ファイバを用いて、12.5 GHz間隔の広帯域周波数コムを発生した。光源には周波数安定化LD(中心波長：1549 nm)を用いた。広帯域化のために、高出力のファイバ光増幅器で平均パワーを4Wまで増幅するとともに、標準単一モードファイバと非線形ファイバからなるパルス圧縮系で、パルスのピークパワーを700W以上まで増幅することに成功した。その結果、1.07～1.7 ミクロンの波長域に渉る広帯域なSC光発生に成功した。ヘテロダイン法により周波数安定度の確認実験を行った。その結果、48時間で0.2MHz以内の安定度を確認した。

研究成果の概要(英文)：In order to discover Earth-like exoplanets, we need a Doppler shift detection capability with high accuracy of 0.7 MHz in the near-infrared region. A broadband laser frequency comb (LFC) has been greatly expected as ideal standards for the calibration of astronomical spectrographs. The requirements for the LFC are broad bandwidth, high frequency stability and multi-gigahertz spacing spectrally resolvable by the spectrographs. In order for the Subaru telescope to challenge the Earth-like exoplanet detection, we have developed the LFC generator consisting of an optical pulse synthesizer, an optical pulse compressor and a highly nonlinear fiber. The two stage amplification having band-pass filters and a Fabry-Pérot filter realized high power pump pulses with low noise. We successfully generated the 12.5-GHz-spacing laser frequency comb ranging over 600 nm from 1070 to 1700 nm.

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・量子光工学

キーワード：光計測 光周波数コム 分光

1. 研究開始当初の背景

太陽系以外の惑星（系外惑星と呼ぶ）が見つかったのは比較的最近の1995年だが、それ以来発見数は、研究開始の時点で700個以上になっている。その結果、例えば木星より10倍以上大きい惑星や、非常に短周期で回る惑星、彗星のように恒星の周りを回る惑星など、太陽系の惑星とは似ても似つかない惑星があることがわかってきた。

恒星より10桁近く暗い系外惑星を直接観測するのは難しいため、これまでドップラー法と呼ばれる間接的な観測法によって多くの惑星が発見されてきた。惑星の運動の影響で恒星も僅かに公転している。そこで恒星から来る光のスペクトルのドップラーシフトを測定すれば、力学的計算によって惑星の公転周期、質量、公転半径などを求めることができる。

小さな地球型惑星を発見するためには、1 m/s（人の歩く速さ）の精度で恒星の回転速度を観測する必要がある。地球型惑星を探索するために、世界最高精度の近赤外ドップラー（IRD: InfraRed Doppler）観測装置を作ろうというプロジェクトが、2010年に国立天文台を中心にスタートした。この装置では、光の周波数シフトを1MHz以下の精度で検出するために、広帯域の近赤外域周波数コム光が必須となる。本研究では、この光周波数コムを発生する方法について研究を進めることとした。

2. 研究の目的

分光系の周波数安定性は10MHzオーダーに留まり目標値（0.7MHz）より一桁以上も悪い。そこで、スペクトルのシフトを正確に測定するための周波数基準として、高い周波数安定度をもつ光周波数コム光を星光と同時に分光器に導入することが必要となる。星光とコム光が同じように分光光学系においてゆらいでも、その相対的なスペクトル位置は変わらないはずだから、コムスペクトルが分光器の「ものさし」になるだろうという発想である。

表1. 周波数コム目標性能

Wavelength bandwidth	970-1750 nm
Mode spacing	12.5 GHz
Frequency stability	< 0.7 MHz / 5 years
Contrast	> 20 dB

表1に光周波数コム光源の目標性能をまとめた。星光のスペクトルを安定に観測するためには、水蒸気などによる吸収が小さく、大気の透過率が高い波長帯域を利用しなければならない。そこで、コム光源は970-1750 nmの波長帯をカバーすることを目標とする。次にコムモード間隔は12.5GHzとした。コム各モードを分光器で十分に分解するために、モード間隔を分光器の周波数分解能の3倍以上に設定した。また、1 m/sの精度で恒

星の回転速度を観測するために、周波数安定性は0.7 MHz以下でなければならない。さらに、モードのコントラスト（SN比）は20dB以上が必要である。このような特性のコムを発生し、分光較正に効果があることを確認することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

上記の要求条件を満足する光周波数コムを生成することは容易ではない。一般にこのような広帯域なコムを生成するには、非線形ファイバ（HNF）中に短光パルスを送りこませてスーパーコンティニューム（SC）光を発生させる手法が用いられる。コムモード間隔は光パルスの繰り返し周波数に等しい。したがってモード間隔を広くすると、パルスのピークパワーが小さくなるためファイバ中の非線形効果が起きにくくなり、SCが広がらない。そこで、光パルスのピークパワーをより大きく増幅することと、限られたパワーでも効率的にSCを発生できるHNFが必要となる。

コム各モードはそのピーク周波数を精度よく確定できるように、20 dB以上の高いコントラストをもっていなければならない。高非線形の分散シフトファイバでSCを発生させる場合、零分散波長が入射パルスの中心波長よりも短波長側にあると、変調不安定性が生じてコムコントラストが低下する。これを防ぐためには、できるだけファイバ長を短くするとともに、帯域通過フィルタ（BPF）やファブリペローフィルタ（FPF）などで不要なASE雑音を除去することが必要となる。

そこで我々は、10 GHz オーダーの高繰り返しパルスを合成して、これを高非線形ファイバに入射することで直接広帯域マルチギガヘルツコムを発生する方法を試みる。その理由は、次のような理由による。

(1) 信号発生器から発振される高いマイクロ波周波数の精度で、励起光パルスの繰り返し周波数（=コムモード間隔周波数）を容易に制御できる。

(2) 励起光パルスの中心周波数は周波数安定化された半導体レーザー（連続発振）で決まるので、天文コムに要求される 10^{-9} 程度の周波数安定化は比較的容易である。また、長期信頼性のある通信用半導体レーザーを用いることで、長期間（5年）の使用に耐えられる。

(3) レーザー発振の代わりに、導波路型の光パルスシンセサイザで合成したパルスをポンプ光に用いる。光パルスシンセサイザは、受動型デバイスのため長期間の安定性を確保しやすく、全システムをファイバ系で構成できる利点がある。

(4) コム全体を光周波数シフタで数10 MHz程度周波数シフトできるので、広帯域に分光器の精密な較正を行える。

ただし、導波路型の光パルスシンセサイザでは、合成できるパルス幅が ps オーダーなので高いピークパワーを得ることが難しい。そ

ここで、ピークパワーを高めるためのハイパワー光増幅とパルス圧縮、および限られたパワーでも効率的に SC を発生できる HNF の開発が課題となる。

4. 研究成果

コム発生装置の概要を図 1 に示す。天文コム発生器の基本構成は、周波数安定化レーザー(FSLD)、種コム発生器、光パルスシンセサイザ(OPS)、光増幅器(EDFA)、パルス圧縮器(OPC)と高非線形ファイバ(HNLF)からなる。

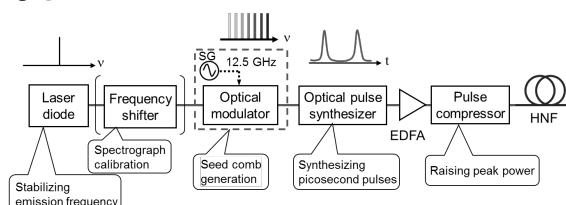


図 1. コム発生装置の概要

周波数安定化レーザーでは、光通信用DFB-LDの発振光をシアン化水素ガスの吸収線にロックしている。発振周波数 193.545 THz (1548.955 nm)のCW光が得られた。この発振光は、0.2 MHz/day以下の安定度であることが確認されている。この光をマイクロ波発振器と光位相変調器で構成される種コム発生器に導入して、12.5 GHz間隔の約50本の側帯波を生成した。50本の種コム光をOPSに導入し、光パルスを生成した。OPSは、導波路型の回折格子であるアレイ導波路格子(arrayed-waveguide grating: AWG)、強度変調器、位相変調器、ミラーがモノリシックに集積された反射型構成からなる。4インチ石英基板上に作製されたAWGは51chの出力導波路をもち、各チャンネルに位相変調器及び強度変調器が集積されている。

OPSに入力した12.5 GHz間隔の50本の各モードは、それぞれ強度と位相が変調されることにより、任意形状の光パルスが生成される。位相スペクトルは観測が困難なため、遺伝的アルゴリズム(GA)を用いたフィードバック制御で調整される。OPSからの出力パルス波形をオートコリレータにより観測し、目標波形との誤差を少なくするように制御して、半値幅4 psのガウシアン光パルスを合成した。

こうして生成した光パルスをEDFA2段で高強度(1Wレベル)に増幅した後、光パルスを圧縮してピークパワーを高めた。パルス圧縮器は、標準の単一モードファイバと高非線形ファイバをタンデムに数段接続した構成で、パルス幅を約10倍圧縮して、最終的に700W以上のパルスピークパワーを実現した。このような高いピークパワーのパルスを分散シフトHNFに導入してSCコムを発生するわけだが、このときHNFに導入する前の光パルスの背景雑音(ASEノイズ)を十分に抑制しておかないと、ファイバ中の変調不安定性効果によりコムのコントラストが低

下する。そこで、帯域通過フィルタ(BPF)とファブリペローフィルタ(FPF)で雑音を除去した。FPFのフィネスは200であり、比較的低いフィネスで十分である。

生成した周波数コムのスペクトルを図2に示す。12.5 GHz間隔で波長1070~1700 nmに涉って、600 nm以上をカバーしており、非常に広い帯域のマルチギガヘルツコムを生成することができた。また、図2(a)~(c)に示したスペクトルの拡大図からは約20 dBのコムのコントラストがあり、背景雑音が少ないコムスペクトルが得られていることがわかる。

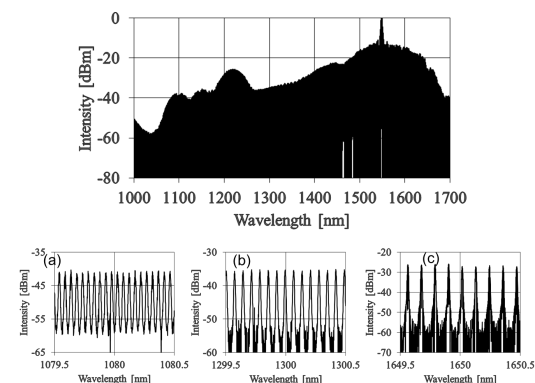


図 2. コムのスペクトル。上は全体図。(a) 1080, (b) 1300, (c) 1650 nmでの拡大図。

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 7件)

1. Ken Kashiwagi, Kiyonobu Mozawa, Yosuke Tanaka, and Takashi Kurokawa, "Dark soliton synthesis using an optical pulse synthesizer and transmission through a normal-dispersion optical fiber," Optics Express, 査読有, Vol. 21, No. 25, 6th Dec. 2013, pp. 30886-30894. DOI:10.1364/OE.21.030886
2. S. Choi, K. Kashiwagi, S. Kojima, Y. Kasuya, and T. Kurokawa, "Two-Wavelength Multi-Gigahertz Frequency Comb-Based Interferometry for Full-Field Profilometry," Applied Physics Express, 査読有, Vol. 6, No. 10, pp. 106601-106604, 10th Oct. 2013. DOI:10.7567/APEX.6.106601
3. 柏木謙、崔森悦、塩田達俊、田中洋介、黒川隆志 「マルチギガヘルツコム発生技術とその応用」O plus E, 査読無, Vol.35, No. 10, 2013年10月, pp. 1155-1160.
4. K. Kashiwagi, H. Ishizu, Y. Kodama, T. Kurokawa, "Background suppression in synthesized pulse waveform by

feedback control optimization for flatly broadened supercontinuum generation," Optics Express, 査読有, Vol. 21, No. 3, 11 Feb. 2013, pp.3001-3009.
DOI:10.1364/OE.21.003001

5. S. Choi, K. Kashiwagi, Y. Kasuya, S. Kojima, T. Shioda, and T. Kurokawa, "Multi-gigahertz frequency comb-based interferometry using frequency-variable supercontinuum generated by optical pulse synthesizer," Optics Express, 査読有, Vol. 20, No. 25, Dec. 3, 2012, pp.27820-27829.
DOI:10.1364/OE.20.027820
6. K. Kashiwagi, H. Ishizu, and T. Kurokawa, "Fiber transmission characteristics of parabolic pulses generated by optical pulse synthesizer," Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, Vol. 50, No.9, Sep. 2011, pp. 092501-1-7.
DOI:10.1143/JJAP.50.092501
7. W. Qiao, K. Mozawa, K. Kashiwagi, Y. Tanaka, and T. Kurokawa "Generation of phase only pulses using optical pulse synthesizer," Applied Physics Express, 査読有, Vol. 4, No.9, 2011, pp. 092703-1-3.
DOI:10.1143/APEX.4.092703

〔学会発表〕(計 33 件)

1. 小谷隆行, 周藤浩士, 神戸栄治, 森野潤一, 寺田宏, 小久保英一郎, 鈴木竜二, 成田憲保, 工藤智幸, 日下部展彦, 西山正吾, 林正彦, 堀安範, 福井暁彦, 権静美, Oliver Guyon, 田村元秀, 西川淳, 青木和光, 臼田知史, 高遠徳尚, 早野裕, 高見英樹, 泉浦秀行, 橋本淳, 馬場はるか, 末永拓也, 呉大鉉, 黒川隆志, 柏木謙, 田中陽一, 鈴木翔太, 奥山康志, 他 20 名, 地球型惑星検出のためのすばる赤外線ドップラー分光器 IRD の開発: 7、日本天文学会 2014 年春季年会 V204a、国際基督教大学、2014 年 3 月 20 日
2. 関智史, 塩田達俊, 柏木謙, 田中洋介, 黒川隆志 「パルスシンセサイザを用いた波長可変なマルチギガヘルツコム光源」第 61 回応用物理学会春季学術講演会, **18a-F8-16**, 青山学院大相模原キャンパス, 2014 年 3 月 18 日
3. 奥山康志, 鈴木翔太, 田中洋介, 柏木謙, 黒川隆志, 小谷隆行, 西川淳, 田村元秀 「系外惑星探査のためのマルチギガヘルツコムの広帯域化」第 61 回応用物理学会春季学術講演会, **17p-D1-2**, 青山学院大相模原キャンパス, 2014 年 3 月 17 日.
4. 柏木謙, 黒川隆志 「マルチギガヘルツ

コム発生と系外惑星探査への応用(招待講演)」レーザー学会学術講演会 第 34 回年次大会, 21a 03, 北九州国際会議場, 福岡県, 2014 年 1 月 21 日.

5. T. Kotani, J. Nishikawa, H. Suto, M. Tamura, B. Sato, W. Aokia, T. Usudad, T. Kurokawa, K. Kashiwagi, S. Nishiyama, Y. Ikeda, D. Hall, K. Hodapp, J. Hashimoto, J. Morino, S. Suzuki, Y. Tanaka, Y. Okuyama, M. Inoue, Y. Mizuno, J. Kwon, T. Suenaga, D. Oh, N. Narita, E. Kokubo, Y. Hayano, H. Izumiura, E. Kambe, T. Kudo, N. Kusakabe, M. Ikoma, Y. Hori, M. Omiya, H. Genda, A. Fukui, Y. Fujii, O. Guyon, H. Kawahara, M. Hayashi, M. Hidai, T. Hirano, M. Kuzuhara, M. Machida, T. Matsuo, T. Nagata, H. Ohnuki, M. Ogihara, S. Oshino, R. Suzuki, H. Takami, N. Takato, Y. Takahashi, C. Tatsunami, H. Terada, "IRD: InfraRed Doppler Instrument for Subaru Telescope", Exoplanets and Disks: Their Formation and Diversity II, The 5th Subaru international Conference, Keauhou Kota, Hawaii, USA, Dec. 11, 2013.
6. 小谷隆行, 田村元秀, 西川淳, 黒川隆志, 柏木謙 「超精密分光測定による太陽系外地球型惑星探査【招待講演】」応用物理学会第 52 回光波センシング技術研究会, LST52-6 (2013), 東京理科大学, 2013 年 12 月 3 日.
7. 小谷隆行, 周藤浩士, 黒川隆志, 神戸栄治, 森野潤一, 寺田宏, 小久保英一郎, 鈴木竜二, 成田憲保, 工藤智幸, 日下部展彦, 西山正吾, 林正彦, 堀安範, 福井暁彦, 権静美, Oliver Guyon, 田村元秀, 西川淳, 青木和光, 臼田知史, 高遠徳尚, 早野裕, 高見英樹, 泉浦秀行, 橋本淳, 馬場はるか, 末永拓也, 呉大鉉, 柏木謙, 田中陽一, 鈴木翔太, 奥山康志, 池田優二, 佐藤文衛, 大宮正士, 原川紘季, 大貫裕史, 立浪千尋, 玄田英典, 平野照幸, 葛原昌幸, 藤井友香, 生駒大洋, 高橋安大, 河原創, 町田正博, 松尾太郎, 長田哲也, 荻原正博, 比田井昌英, Don Hall, Klaus Hodapp, IRD チーム地球型惑星検出のためのすばる赤外線ドップラー分光器 IRD の開発: 日本天文学会 2013 年秋季年会 **V236a**, 東北大学, 2013 年 9 月 11 日.
8. Y. Tanaka, S. Suzuki, K. Kashiwagi, and T. Kurokawa, "Waveform reshaping of compressed pulse by feedback control of optical pulse synthesizer," Nonlinear Optics, OSA Topical Meeting 2013, **NW3A.5**, Kohala Coast, Hawaii, July 24, 2013.
9. K. Kashiwagi, A. Hasegawa, and T. Kurokawa, "Efficient wavelength conversion using saw-tooth pulse generated by optical pulse

- synthesizer," Nonlinear Optics, OSA Topical Meeting 2013, **NW3A.2**, Kohala Coast, Hawaii, July 24, 2013.
10. S. Suzuki, K. Kashiwagi, Y. Tanaka, Y. Okuyama, T. Kotani, J. Nishikawa, H. Suto, M. Tamura and T. Kurokawa, "12.5 GHz Near-IR frequency comb generation using optical pulse synthesizer for extra-solar planet finder," Nonlinear Optics, OSA topical Meeting 2013, **NM3A.3**, Kohala Coast, Hawaii, July 22, 2013.
 11. K. Kashiwagi, S. Suzuki, Y. Tanaka, T. Kotani, J. Nishikawa, H. Suto, M. Tamura and T. Kurokawa, "400-nm-spanning astro-comb directly generated from synthesized pump pulse with repetition rate of 12.5 GHz", CLEO:2013, **CTu11.1**, San Jose, June 11, 2013.
 12. 奥山康志, 水野陽介, 鈴木翔太, 田中洋介, 柏木謙, 黒川隆志, 小谷隆行, 西川淳, 周藤浩志士, 田村元秀 「系外惑星検出のための広帯域光周波数コムの特性」第 60 回応用物理学会春季学術講演会, **29p-B3-3**, 神奈川工科大学, 2013 年 3 月 29 日.
 13. 小谷隆行, 田村元秀, 周藤浩志, 西川淳, 青木和光, 臼田知史, オリビエ・ギュヨン, 早野裕, 高見英樹, 泉浦秀行, 神戸栄治, 森野潤一, 寺田宏, 小久保英一郎, 高遠徳尚, 鈴木竜二, 成田憲保, 工藤智幸, 日下部展彦, 橋本淳, 西山正吾, 林正彦, 堀安範, 福井暁彦(国立天文台), 権静美, 末永拓也, 呉大鉉(総研大), 黒川隆志, 柏木謙, 水野陽介, 井上真嘉, 鷲崎曜, 田中陽一, 鈴木翔太(農工大), 他 20 名 「地球型惑星検出のためのすばる赤外線ドップラー分光器 IRD の開発: 4」日本天文学会 2012 年秋季年会 **P217a**, 大分大学, 2012 年 9 月 21 日.
 20. M. Tamura, H. Suto, J. Nishikawa, T. Kotani, B. Sato, W. Aoki, T. Usuda, T. Kurokawa, K. Kashiwagi, S. Nishiyama, Y. Ikeda, D. N. B. Hall, K. W. Hodapp, J. Hashimoto, J. Morino, S. Inoue, Y. Mizuno, Y. Washizaki, Y. Tanaka, S. Suzuki, J. Kwon, T. Suenaga, D. Oh, N. Narita, E. Kokubo, Y. Hayano, H. Izumiura, E. Kambe, T. Kudo, N. Kusakabe, M. Ikoma, Y. Hori, M. Omiya, H. Genda, A. Fukui, Y. Fujii, O. Guyon, H. Harakawa, M. Hayashi, M. Hidai, T. Hirano, M. Kuzuhara, M. Machida, T. Matsuo, T. Nagata, H. Ohnuki, M. Ogihara, S. Oshino, R. Suzuki, H. Takami, N. Takato, Y. H. Takahashi, C. Tachinami, H. Terada, "Infrared Doppler instrument for the Subaru Telescope (IRD)," SPIE **8446**: Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy IV, 84461T, July 3, 2012.
 21. K. Kashiwagi, K. Mozawa, Y. Tanaka, T. Kurokawa, "Dark soliton synthesis using optical pulse synthesizer and soliton transmission in normal dispersion regime," CLEO 2012, San Jose, **CM2B.6**, May 7, 2012.
 22. Y. Mizuno, K. Kashiwagi, H. Ishizu, J. Nishikawa, H. Suto, M. Tamura, T. Kurokawa, "Dark soliton synthesis using optical pulse synthesizer and soliton transmission in normal dispersion regime," CLEO 2012, San Jose, **CM2B.6**, May 7, 2012.
14. 西川淳, 田村元秀, 泉浦秀行(国立天文台/総研大), 小谷隆行, 周藤浩志, 西山正吾, 森野潤一, 神戸栄治(国立天文台), 井上真嘉, 水野陽介, 鷲崎曜, 田中陽一, 鈴木翔太, 柏木謙, 黒川隆志(東京農工大), 権静美, 末永拓也, 呉大鉉(総研大), 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(4)」日本天文学会 2013 年春季年会, **V18b**, 埼玉大学, 2013 年 3 月 21 日.
 15. 鈴木翔太, 田中陽一, 水野陽介, 柏木謙, 田村元秀, 小谷隆行, 西川淳, 周藤浩志, 黒川隆志 「系外惑星検出のための広帯域マルチギガヘルツ周波数コムの発生」 Optics & Photonics Japan 2012, **25pC2**, 東京, 2012 年 10 月 25 日.
 16. 田中陽一, 鈴木翔太, 柏木謙, 黒川隆志 「光パルスシンセサイザを用いたペDESTアルフリーなパルス圧縮」 Optics & Photonics Japan 2012, **23aE6**, 東京, 2012 年 10 月 23 日.

- Kurokawa, “Multi-gigahertz-spaced frequency comb generation using optical pulse synthesizer for extra-solar planet finder,” CLEO 2012, San Jose, **JW1C.5**, May 9, 2012.
23. 田村元秀、周藤浩士、西川淳、青木和光、臼田知史、オリビエ・ギュヨン、早野裕、高見英樹、泉浦秀行、神戸栄治、森野潤一、寺田宏、小久保英一朗、高遠徳尚、鈴木竜二、松尾太郎、成田憲保、工藤智幸、日下部展彦、橋本淳、西山正吾、堀安範、福井暁彦、權靜美、末永拓也、黒川隆志、柏木謙、水野陽介、井上真嘉、他 18 名「地球型惑星検出のためのすばる赤外線ドップラー分光器 IRD の開発：3」日本天文学会 2012 年春季年会、**P228a**, 龍谷大学, 2012 年 3 月 22 日
24. 西川淳、田村元秀、周藤浩史、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、權靜美、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、**V219b**, 龍谷大学, 2012 年 3 月 21 日.
25. 西川、田村、周藤、西山、森野、神戸、泉浦、水野、井上、柏木、黒川、權、末長、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 年秋季年会、**V28a**, 鹿児島大, 2011 年 9 月 18 日.
26. 田村、周藤、西川、青木、臼田、ギュヨン、早野、高見、泉浦、神戸、森野、寺田、小久保、高遠、鈴木、松尾、成田、工藤、日下部、橋本、西山、堀、權、末長、黒川、柏木、水野、井上、他 19 名「地球型惑星検出のためのすばる赤外線ドップラー分光器 IRD の開発：2」日本天文学会 2011 年秋季年会、**V27a**, 鹿児島大, 2011 年 9 月 18 日.
27. 田中陽一、水野陽介、鈴木翔太、柏木謙、黒川隆志 「光パルスシンセサイザを用いた圧縮パルス生成」第 59 回応用物理学関係連合講演会 **18a-E9-5**, 早稲田大学, 2012 年 3 月 18 日.
28. 鈴木翔太、水野陽介、田中陽一、柏木謙、黒川隆志、「光パルスシンセサイザと高非線形ファイバを用いた SC 発生と低雑音化」第 59 回応用物理学関係連合講演会 **18a-E9-6**, 早稲田大学, 2012 年 3 月 18 日.
29. 水野陽介、井上真嘉、柏木謙、西川淳、周藤浩史、田村元秀、黒川隆志 「光パルスシンセサイザを用いた系外惑星観測のための光周波数コムの生成」第 59 回応用物理学関係連合講演会 **16p-F4-9**, 早稲田大学, 2012 年 3 月 16 日.
30. Y. Washizaki, K. Kashiwagi, J. Nishikawa, H Suto, M. Tamura, T. Kurokawa “Precise measurement of spectral peak by optical

frequency shift,” 17th Microoptics Conference (MOC’11), **H-76**, Sendai, Nov. 1, 2011.

31. S. Inoue, Y. Mizuno, K. Kashiwagi, T. Kurokawa “Degradation of spectral linewidth and signal-to-noise ratio in supercontinuum generation process,” 17th Microoptics Conference (MOC’11), **H-78**, Sendai, Nov. 1, 2011.
32. K. Kashiwagi, H. Ishizu, Y. Mizuno, and T. Kurokawa, “Optical pulse compression with waveform reshaping using pulse synthesizer and cascaded fiber pair,” IQEC/CLEO Pacific Rim 2011, **3240-CT-6**, pp. 363-364, Sydney, 30 August, 2011.
33. T. Kurokawa and K. Kashiwagi, “Optical short pulse synthesis and its applications (invited paper),” IQEC/CLEO Pacific Rim 2011, **3450-IT-3**, pp. 485-487, Sydney, 30 August, 2011.

〔図書〕(計 1 件)

黒川隆志他, 「光エレクトロニクスとその応用」(分担執筆) [5.2, 6.3.3] オーム社 2011 年 5 月, 17, ISBN 978-4-274-21022-8

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒川隆志 (KUROKAWA TAKASHI)
東京農工大学・大学院工学研究院・名誉教授
研究者番号：40302913

(2) 研究分担者

西川 淳 (NISHIKAWA JUN)
国立天文台・系外惑星探査プロジェクト室・助教
研究者番号：70280568

(3) 連携研究者

柏木 謙 (KASHIWAGI KEN)
東京農工大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号：10509370