Osaka University Knowledge Archive

Title	Studies on Direct Analysis and Characterization of Ultrashort Optical Pulse by Introduction of Optical Signal Processing
Author(s)	谷村, 和紀
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44992
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

【5】

氏　　名	谷村和紀（たにむら かずのり）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学位記番号	第　18656　号
学位授与年月日	平成16年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科物質・生命工学専攻
学位論文名	Studies on Direct Analysis and Characterization of Ultrashort Optical Pulse by Introduction of Optical Signal Processing （光学的信号処理の導入による超短光パルスの直接解析・評価に関する研究）
論文審査委員	（主査） 教授　伊東　一良 （副査） 教授　金谷　茂則　教授　福住　俊一　教授　宮田　幹二 教授　柳田　祥三　教授　横山　正明　教授　高井　義造 教授　青野　正和　教授　小西　毅

論文内容の要旨

本論文は、超短光パルスを用いた超高速現象（フェムト秒からピコ秒領域）の計測において、検出器による光→電気信号変換を介さずに、信号パルスの光電場から直接特徴量を解析・評価する光前処理型の計測手法を提案している。論文の要旨は以下のとおりである。

第1章では、光前処理型計測手法の概要について説明している。時空間光情報処理による光学的な信号処理手法について述べ、時空間光情報処理を応用した超短光パルス計測システムである光スペクトログラムスコープについて説明している。また、光スペクトログラムスコープにおける信号処理の特殊化方法について述べている。

第2章では、光スペクトログラムスコープにおいて、被計測信号の振幅・位相特定に特化した光学的時間－周波数変換を検討し、通常の手法では必要であった反復計算なしに振幅・位相を特定できることを示している。原理確認実験により、チャープした超短光パルス信号の振幅・位相を特定し、その値が理論値と一致することを示している。

第3章では、超短光パルス計測における光学的な前処理の効果をより有効に活用した計測手法として、被計測信号に含まれる特徴的な過渡スペクトルパターンを直接検出する手法（過渡スペクトルマッチング）を提案している。原理確認実験として、チャープパルスとフーリエ限界パルスの2つの成分からなる被計測信号を計測し、個々の信号成分に対応する過渡スペクトルパターンを、その相対的な時間関係と共に直接検出できることを確認している。

第4章では、過渡スペクトルマッチングと従来の計測手法を比較することにより、光前処理型計測手法の優位性について述べている。過渡スペクトルマッチングでは、光学的マッチトフィルタリングによる効果により、計測の信号対雑音比（SNR）が飛躍的に向上することを実証している。また、検出器の雑音による影響を評価し、光学的前処理の有効性を確認している。

第5章では、光学的な前処理を考慮して電気的な後処理も検討することにより、計測システムの最適化を検討している。高速CCDカメラおよびハードウェア画像処理ボードを用いて取得データに対する後処理を高速化することにより、計測のリアルタイム化を実現している。

第６章では、光前処理型計測手法の実計測への適用を検討し、シアニン系色素（IR-140）の過渡吸収スペクトルの計測を行っている。４連のパルス列をプローブ光として用いることで、単発で、ポンプ光により生じた吸収飽和を計測している。実験結果から、光前処型計測手法が実計測へ十分導入可能であることを示している。

最後に本研究で得られた成果をまとめ、総括している。

論文審査の結果の要旨

フェムト秒領域の超高速現象の計測手法として、超短光パルスを用いたポンプ－プローブ法が確立されているが、ポンプ－プローブ法では、プローブ光に含まれている特徴量（振幅や位相変調量）を解析・評価することにより、超高速現象の計測が行われている。一般に、プローブ光である超短光パルスの解析には、検出器の光→電気信号変換を介して得られた測定データが用いられるが、変換後の電気信号はもとの信号パルスと本質的に異なるものである。したがって、光→電気変換を介さずに、直接信号パルスの光電場から特徴量を解析することが理想的である。本論文では、被計測信号の光電場自身を直接処理・解析するために、光学的な信号処理手法を超短光パルス計測に導入した光前処理型の計測手法を検討している。得られた成果を要約すると以下のとおりである。

(1)被計測信号の振幅・位相特定に特化した光学的時間－周波数変換を用いることで、通常の手法では必要であった反復計算をなくし、簡単な数値計算で振幅・位相を特定する手法を提案している。また、原理確認実験により、提案する手法により得られた結果が理論値に一致することが示されている。

(2)従来の時間分解・周波数分解による計測を発展させ、被計測信号に含まれている過特徴的な過渡スペクトルパターンを直接検出する手法（過渡スペクトルマッチング）を提案している。この提案手法は、空間並列処理により複数の過渡スペクトルパターンの同時検出・解析が可能、光学的マッチトフィルタリングによる高感度計測の実現、機械的走査を用いない単発での計測が可能、などの特徴をもつ。原理確認実験により、所望とする過渡的スペクトルパターンを、その相対的な時間関係と共に直接検出できることが示されている。

(3)提案する過渡スペクトルマッチングが、従来の計測手法に比較して、検出器の雑音による影響を飛躍的に低減できることを実証している。また、検出器の雑音による影響を評価し、光前処理型計測手法の有効性を示している。

(4)光学的な前処理を考慮し、電気的な後処理も含めた計測システム全体の最適化を検討している。最適化システムにより、計測のリアルタイム化が実現されている。

(5)シアニン系色素を用いた過渡吸収スペクトル測定を行うことにより、提案する光前処理型計測手法の実計測への適用を検討している。実験結果から、実計測へ十分導入可能であることが確認されている。

以上のように、本論文は、光学的な信号処理を用いて、被計測信号の光電場から直接特徴量を解析・評価する光前処理型の計測手法について述べたものである。これらの成果は、今後の超高速信号計測技術、超高速情報処理技術への応用が期待でき、応用物理学、特にフォトニック情報工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。