OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Studies on Optical Probe Techniques for Ultrafast and Non-Repetitive Measurement
Author(s)	山崎, 佑
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/82257
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　山　崎　佑　）	
論文題名	Studies on Optical Probe Techniques for Ultrafast and Non-Repetitive Measurement （超高速非繰り返し計測のための光プローブ技術に関する研究）

論文内容の要旨

本博士論文では，超高速非繰り返し計測における光プローブ技術に着目し，光源や検出器などの外装する系を含む計測系全体の信号伝達品質の向上を検討した．電気的な手法の適用が困難な超高速非繰り返し計測の信号伝達品質向上に重要なプローブ光の雑音抑制と，検出器との帯域整合について，光学的な手法の提案・実証を行うとともに，超高速非繰り返しの信号伝達の一例として取り上げた光通信における信号伝達の最適化を行い，システム全体の信号伝達品質の向上について検証した．

第一章では，超高速非繰り返し計測の信号伝達品質向上に重要な光プローブ技術について述べた．光源や検出器に起因する雑音や，計測に適したプローブ光生成に用いられる信号処理の観点から，信号増幅の有効性を示し，低強度損失な雑音抑制手法と帯域整合技術の必要性について説明した．

第二章では，信号増幅時に増幅器において発生する自然放射増幅光（ASE）雑音の抑制について，非線形光学効果と波長フィルタを用いた低強度損失な手法を提案し，ASE雑音による信号品質の劣化が抑制できることを実験的に実証した．各ASE雑音の量における信号品質の改善度合いを検討し，信号に含まれる雑音の割合の観点から，本手法の有効な範囲について明らかにした．

第三章では，第二章で述べた手法における波長フィルタを適用する際に，最適化アルゴリズムによりフィルタの形を決定することで，ASE雑音だけでなく，パルスの強度ゆらぎも抑制する手法を提案し，その効果を実験的に実証した．本手法の適用により生じるパルスの時間的なゆらぎについても検討し，その低減が可能であることを示した．

第四章では，超高速現象の光計測に広く利用されているポンプ・プローブ技術を用いた超高速可飽和吸収計測実験を通して第二章，第三章の低強度損失な雑音抑制手法の適用効果が測定対象入射後も維持されていることを示した．また，計測系全体の信号伝達品質を評価するために，測定結果から得られる可飽和吸収体の緩和時間の測定確度について議論した．

第五章では，超高速非繰り返し計測用プローブ光として最適な時間軸に最稠密配列された光パルス列であるナイキストパルス列を，狭帯域な検出器で検出する際の帯域整合に必須のシリアルパラレル変換について検討を行った．従来と比較して低強度損失な手法であるフラクショナルフーリエ変換に基づいた多重化により，強度変調されたナイキストパルス列のシリアルパラレル変換が可能なことを実験的に実証した．また，強度だけでなく，位相変調信号に対しても有効な手法であることを示し，シリアルパラレル変換後の信号の信号品質改善手法についても提案した．

第六章では，超高速非繰り返しの信号伝達の一例として，高い信頼性が要求される光通信を取り上げ，第五章で用いたフラクショナルフーリエ変換に基づいた多重化を伝送方式として用い，超高速非繰り返し光信号伝送中の非線形光学効果による信号劣化の抑制について検討した．一般的に正の相関がある信号品質と利用帯域幅の関係の最適化を行うことで，従来の伝送方式と比較して信号伝達品質が改善することを示した．

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（　山崎　佑　）

	（職）	氏　名
論文審査担当者		
主 査	准教授	小西　毅
副 査	教授	藤田　克昌
副 査	教授	坂本　一之
副 査	教授	兼松　泰男　（理学研究科）

論文審査の結果の要旨

超高速非繰り返し計測には、光源や検出器などの外装する系を含む計測系全体の信号伝達品質の向上が重要となる。本論文では、電気的な手法の適用が困難な超高速非繰り返し計測におけるシステム全体の最適化に重要なプローブ光の雑音抑制と、検出器との帯域整合について、光学的な手法の提案・実証を主に行っている。得られた結果を要約すると以下の通りである。

1. 信号増幅による信号品質向上の制限要因である自然放射増幅光（ASE）雑音と光パルスの強度ゆらぎについて、高効率に誘起される非線形光学効果を用いた強度損失が少ない雑音抑制手法を提案し、その効果を実験的に実証している。提案する雑音抑制手法を適用して生成した低雑音プローブ光を用いた計測により、計測精度が向上することを示している。
2. 超高速現象の実時間計測に必要な高稠密なプローブパルス列と狭帯域な検出器との帯域整合を行うために、時間－周波数の中間領域を媒介することで、プローブ光として最適な時間領域で最も稠密なナイキストパルス列を周波数領域で並列配置された低稠密パルス列に変換可能なプローブ光の生成方法を提案している。100 GHz の高稠密プローブパルス列を用いた超高速透過率変化の計測実験から、提案する手法の実験的実証を行っている。
3. システム全体の最適化の具体的な事例として、超高速非繰り返し光信号を送受信する光通信を取り上げ、信号伝達品質の向上を検討している。時間－周波数の中間領域の活用による伝送中の信号劣化の抑制を実証するとともに、一般的に正の相関がある信号品質と利用帯域幅の関係の最適化を行うことで、信号伝達品質が改善することを示している。

以上のように、本論文は超高速非繰り返し計測における計測系全体の信号伝達品質の向上について述べたものであり、光学的な手法に基づく雑音抑制と帯域整合技術を実現する光プローブ技術の高度化は、そのような計測の高精度化に有効な手段であると考えられる。また、光計測における基準となる光源の安定化は、非繰り返し計測だけでなく、繰り返し計測における信号伝達品質向上においても重要であり、提案手法の様々な光計測への応用が期待される。これらの成果は、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。