

レーザー計測の基礎 III：総論

朝倉 利光, 岩井 俊昭*, 相津 佳永**

北海学園大学 工学部 電子情報工学科 (〒064-0926 北海道札幌市中央区南26条西11-1-1)

*北海道大学 電子科学研究所 附属電子計測開発施設 (〒060-0812 北海道札幌市北区北12条西6)

**室蘭工業大学 機械システム工学科 (〒050-8585 北海道室蘭市水元町27-1)

Fundamentals of Laser Measurements III: General Remarks

Toshimitsu ASAKURA, Toshiaki IWAI*, and Yoshihisa AIZU**

Faculty of Engineering, Hokkai-Gakuen University

11-1-1 Nishi, 26 Minami, Chuo-ku, Sapporo, Hokkaido 064-0926

**Research Institute for Electronic Science, Hokkaido University*

6 Nishi, 12 Kita, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-0812

***Department of Mechanical System Engineering, Muroran Institute of Technology*

27-1 Mizumoto, Muroran, Hokkaido 050-8585

(Received August 25, 1999)

1. はじめに

「レーザー計測の基礎」編の第I報¹⁾では測定 of 物理量である“速度”を対象にしてレーザー計測について、第II報²⁾では光の物理現象である“散乱”を利用したレーザー計測について、それぞれの基礎と具体例について解説した。レーザー計測の基礎は多義にかつ具体例も多分野にわたっており、3回の解説でそれらを網羅することは不可能である。したがって、第III報ではレーザー計測の特徴を分類、そして最近の課題について概説する。

光を利用する光学計測は、非接触・非破壊かつ高精度な測定技術としてレーザーの出現以前から研究されてきた。しかし、応用としては機械分野が中心となっており、それも幾何光学に基づく計測が主体となっていた。光の波動性を利用した干渉計測などは、従来の熱的光源では可干渉性が悪いことや、調整の困難さのために、ほとんど使われることがなかった。

レーザーの出現は、レーザー光がもつ高コヒーレンス性、指向性、高輝度などのゆえに、従来の光学計測を一変させ、光がもつ波動性と粒子性を積極的に利用した計測技術が開発され、かつ応用は機械分野ばかりでなく広範囲な分野にわたる科学技術で盛んに行われ、今日に至っている。このようなレーザー計測は、現代の科学技術の発展に伴って、その重要性がさらに増加している。その結果、レーザー計測技術の発展はめざましく、あらゆる産業における技術の高度化、高信頼化、高密度化などに不可欠な非接触・非破壊計測、高速計測、分光計測などの高度な計測技術として、レーザー計測は必要不可欠なものになっている。このようなレーザー計測技術の進展には、産業における強い

ニーズの存在ばかりでなく、それを実現することを可能とする周辺技術、特にエレクトロニクス技術や機械技術の大幅な発展に負うところが大きい。すなわち、レーザー光を利用した計測法に、高度な情報処理システムが結合して、新しいシステムとしてのレーザー計測技術が生まれてきており、その発展はめざましいものがある。

2. レーザー計測の分類

レーザー計測の特徴は、何らかの形でレーザー光の優れた特性であるコヒーレンス性(可干渉性)、単色性、高指向性、高収束性、高強度、偏光特性、波長可変性などを利用していることである。これらは、レーザー出現以前の光学計測にとって、光源に対して期待された特性であったが、そのような特性を熱的光源からの光には期待できなかった。したがって、レーザーの誕生は、上記の優れた特性をもつレーザー光の出現を可能にし、それゆえに計測に対して画期的な進展をもたらしてきた。

このようなレーザー光の特性を利用するレーザー計測の特徴として、いくつかの優れた点を指摘することができる。すなわち、光の波動性や粒子性を利用して、(1)非接触・非破壊計測、(2)2次元および3次元計測、(3)分光計測(カラー計測)、(4)高感度(高空間・時間分解能)計測が可能であり、かつ光情報処理技術と結びついて高速かつ並列に情報(データ)処理ができることである。これらは、従来の光学計測や電気計測にはない優れた特徴である。

レーザー計測はいろいろな立場から分類することができる。レーザー光がもつ特性からの分類、計測手段となるレーザー光のパラメーターからの分類、計測に利用される

形状・粗さ計測……

干渉計測, ホログラフィー計測, スペックル計測など
変位, 変形, 振動計測……

ホログラフィー計測, スペックル計測など
分光計測……レーザー分光計測など

温度, 圧力計測……光ファイバセンサーなど
欠陥検査……回折・散乱現象利用の計測など。

⑤用途別による分類

広い計測分野による分類……

産業計測, 医療計測, 宇宙・航空・海洋計測など
種々の環境下における分類……

狭空間計測, 宇宙・航空計測, 水中・海洋計測, 高電圧下
計測, 電磁環境下計測, 生体内計測など

3. レーザー計測の種々の課題

近年, エレクトロニクス, マテリアルサイエンス, バイオサイエンスなど, 広範囲な分野における微小域・微量の観測・操作・加工など, ミクロな世界の科学技術が進展しつつある。これらの進展は, 計測精度の向上の進展とはほぼ一致しており, その精度向上に先端的な役割を果たしているのがレーザー計測であろう。このことは, 寸法, 形状, 粗さなどの機械計測における光利用の測定精度の向上に伴って, 超精密加工技術の進展が展開され, その超精密加工の到達精度はまさに測定精度によって決定されてきたことから明らかである。したがって, ミクロな世界の科学技術における今後の進展は計測技術の進展に左右されることは明らかであり, その先導役を務めるレーザー計測技術の発展に大きな期待がかかっている。

3.1 短波長化

レーザー計測の基本的な感度は, 光の波長である。レーザー光を用いる光学系の測定限界は, 分解能によって決定され, その分解能は光学系の開口数とレーザー光の波長によって制限される。したがって, 分解能を向上させる直接的な方法として, 使用する光の短波長化が考えられる。レーザーのようなコヒーレント光源の開発は, レーザーそのものの開発と非線形光学効果に基づく高周波発生技術

の進展によって進められてきた。レーザーそのものとしては, 紫外域でのエキシマレーザーの出現と開発に期待がかかっている。現在では, エキシマレーザーの高繰返し動作, ロングパルス動作, 長時間安定性などの改善が行われ, 計測への応用にも明るい見通しがついてきている。高周波発生技術による短波長化は有力な手段であり, YAGレーザーなどの近赤外レーザーの2倍波は可視用に, 3倍波, 4倍波は紫外用に用いられる。高周波発生のほか短波長化の手段に, 和周波発生などがある。そのために色素レーザーが対象として研究されている。光の短波長化の極端な例として, X線の使用がある。そのために, 軟X線の分野でのX線レーザーの開発と実用化が期待されている。

3.2 空間的超解像³⁾

レーザー光学系における分解能は, 波長のほかに光学系の開口数によって制限される。この開口数による限界が, 光が波動であるゆえに生じるもので回折限界とも呼ばれている。この回折限界の向上を目指して, 光源自体の操作と光学系瞳関数の形状変化による研究がされてきている。回折限界の挑戦としては, 従来の光学系利用の発想を転換して, 回折限界を受けない全く異なる光学系や方法に基づく提案と実用化が進められている。それらは, 共焦点形の顕微鏡(Fig.2に例を示す), 近接場光学に基づく観察・測定(Fig.3に例を示す⁴⁾), 非線形光学系に基づく回折限界への修正, 位相回復法や光CTで研究が盛んなデジタル超解像技術などがある。いずれにしても, これらはいずれも測定精度の向上を狙ったものであり, レーザー計測技術の中で実用化されていくことが期待される。

3.3 その他

(1) 高精度干渉計測

レーザー干渉計測では, 干渉縞の極大値または極小値の観察からの位相変化を測定することが基本となっている。このことは, 光路差を波長を単位として測定していることになり, したがって, 計測精度は1波長の変化が限界となる。一方, 干渉縞の強度は周期的に正弦波状に変化している。この干渉縞に空間的・時間的な変化を与え, その位相変化を波長以下の精度で読み取る方法が行われている

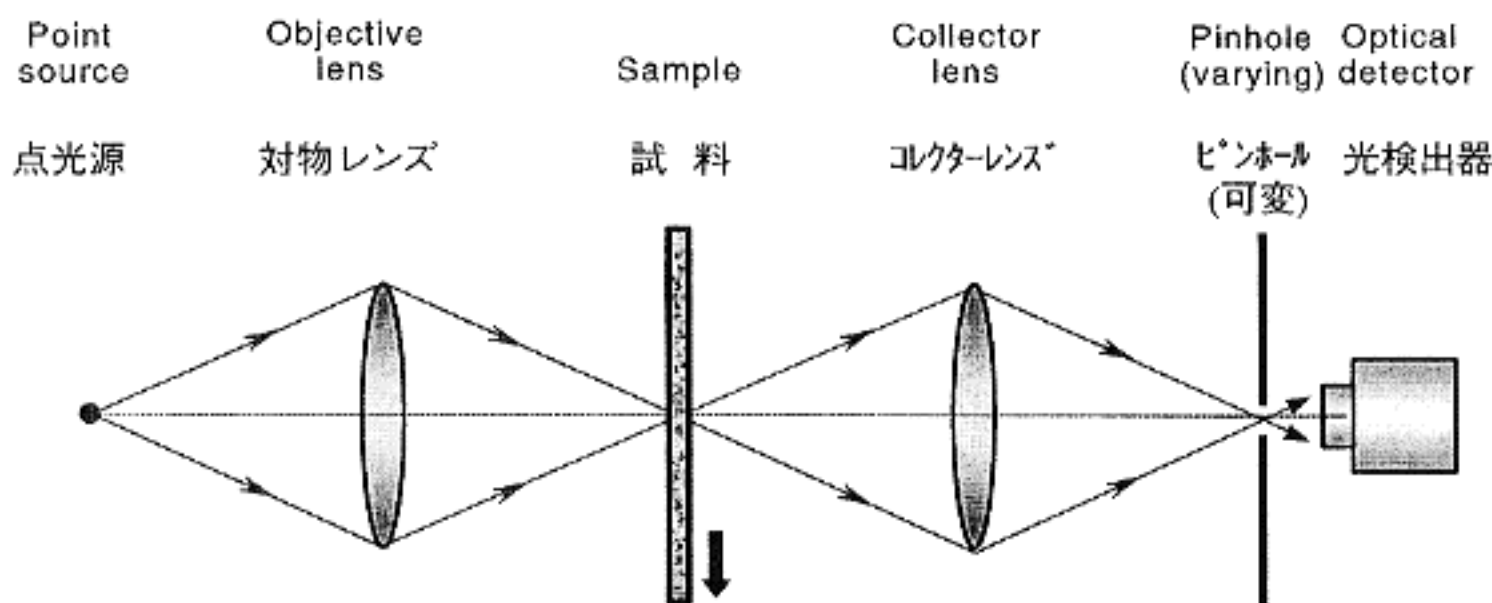


Fig.2 Example of the confocal microscope.

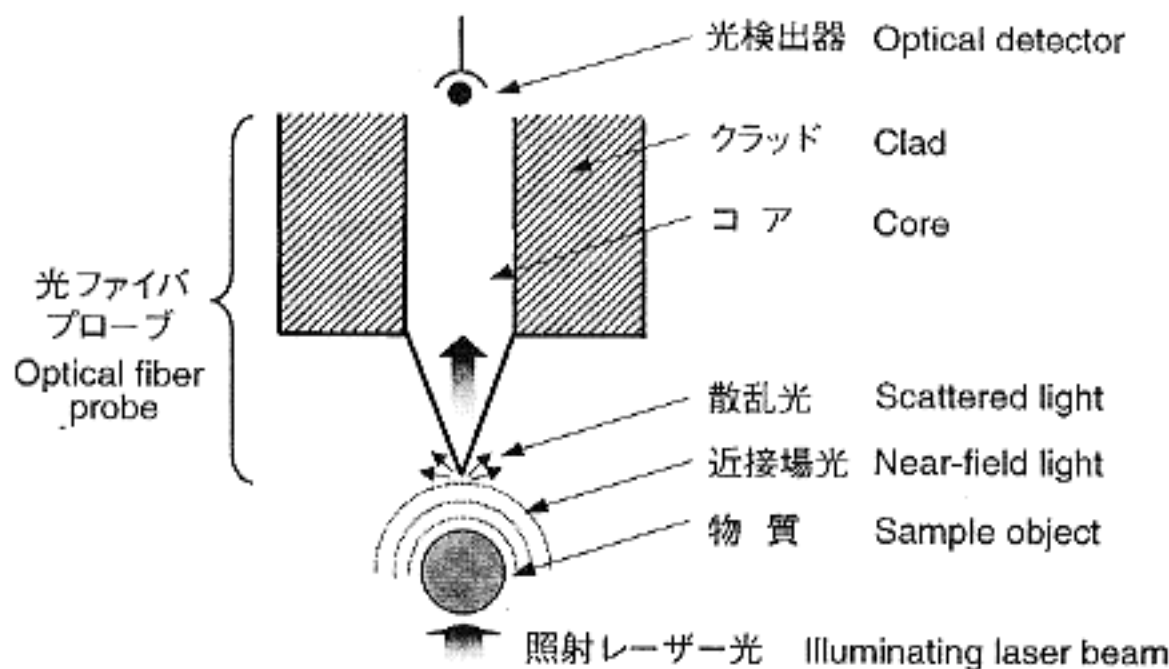


Fig.3 Example of the near-field optical microscope using a fiber probe.

のが高精度干渉計測である。空間的变化を与える方法に縞走査干渉法やサブFRING法があり、時間的变化を与える方法にヘテロダイン干渉法やフーリエ変換干渉法がある。これらの高精度干渉計測の測定精度は、縞検出における信号対雑音比によるが、測定限界は $\lambda/1000 \sim \lambda/2000$ と考察されている。

(2) 超短光パルス計測

超短光パルス計測は、主に高速な物理・化学現象の測定・解析に用いられる。したがって、どの程度のパルス光を作り出せるかが問題となる。現在は、モードロック、Qスイッチ、キャビティダンプなどの超短光パルス生成技術が研究されてきており、色素レーザーのモードロック技術で約10フェムト秒程度の超短光パルスが得られるまでになっている。応用としては、高速物理現象や化学反応素過程などの研究、超高速エレクトロニクスにおける種々の現象の解析研究などに利用されつつある。

(3) 光波制御技術

レーザー計測における重要な課題の一つにレーザー光自身の制御技術がある。レーザー光の波長幅の制御(超コヒーレンス光の創出など)、レーザービームのモード制御、レーザービーム伝送に伴う各種の制御(非回折ビームの研究など)、レーザー光変調技術などがある。これらは、すべて計測方法や計測精度と何らかの形で必然的に関わってくるものであり、それぞれについての研究が展開されて

いる。

4. おわりに

3回にわたる「レーザー計測の基礎」編で紹介したごとく、レーザー計測技術は今までの光学計測の限界をはるかに乗り越え、種々の測定限界に挑戦しつつ、それらの限界を超え、測定範囲や測定精度を向上させつつある。また、レーザー計測の発展は、広い分野の科学技術におけるマイクロ化を進め、マイクロ領域における新しい現象の発掘にも一翼を荷いつつあり、まさに科学技術の先導役を努めているといっても過言ではない。また、レーザー計測の応用は、科学技術の全体に展開しつつあり、理学、工学、医学といったあらゆる分野において実用的な計測技術となる努力がなされている。レーザー計測の最近の進展については、多角的に学会誌や学術図書⁵⁻⁸⁾で取り上げられてきているのでそれらを参照して頂きたい。

参考文献

- 1) 相津佳永, 岩井俊昭, 朝倉利光: レーザー研究 27 (1999) 572.
- 2) 岩井俊昭, 相津佳永, 朝倉利光: レーザー研究 27 (1999) 642.
- 3) 河田 聡(編): 超解像の光学(学会出版センター, 1999).
- 4) 大津 元一: 光科学への招待(朝倉書店, 1999) p.59.
- 5) 日本機械学会(編): 光応用機械計測技術(朝倉書店, 1985).
- 6) 谷田貝 豊彦: 応用光学, 光計測入門(丸善, 1988).
- 7) 藤村 貞夫(編著): 光計測の基礎(森北出版, 1993).
- 8) 大澤 敏彦, 小保方 富夫: レーザ計測(裳華房, 1994).