

# C3

## マルチディザー方式補償光学系による大気のゆらぎの自動補償

Automatic Phase-Compensation of Atmospheric Turbulence Using Multidither-Type Coherent Adaptive Optical System

杉井 正克、 齊藤 英明

(Masakatsu Sugii and Hideaki Saito)

防衛庁技術研究本部 第2研究所

(Second Research Center, Technical Research & Development Institute,  
Japan Defense Agency, Tokyo)

Abstract: CO<sub>2</sub>-laser beam distortion induced by atmospheric turbulence has been automatically phase-compensated by using a multidither-type coherent adaptive optical system consisting of continuous wave CO<sub>2</sub>-laser, convergence optics including a nine-actuators segmented deformable mirror, and signal processing system.

補償光学系は、レーザシステムにおける送信レーザビームの伝搬性能の改善や受信光学系の限界像を得るために必要不可欠の光学技術であり、前者の応用例としては、レーザのビーム質改善や集光性能改善、レーザのフェイズドアラレー化、レーザ通信、高精度レーザ測距などへの応用が、また後者では、大型天体望遠鏡の姿勢制御やリモートセンシングにおける受信画像の高分解能化などへの応用が考えられている。

マルチディザー方式補償光学系は、COAT (Coherent Optical Adaptive Technique) と呼ばれるレーザシステムにおける補償光学の1方式であり、形状可変鏡のそれぞれの鏡に特定の周波数で微小振幅の摂動(ディザー)を与え、集光点で各小開口からのビームの重なりにより生じる輝度変調成分から位相歪量を交流的に間接的に推定し、形状可変鏡を制御するものである。

筆者らは、マルチディザー方式補償光学系をわが国で初めて開発し、その基本制御性能の最適化、静的な波面歪、大気のゆらぎを模擬した動的な波面歪に対する補償実験を行い、システムの有効性を確認したので報告する。Fig.1に今回開発したマルチディザー方式補償光学実験装置のブロックダイアグラムを示す。装置は、CW-CO<sub>2</sub>レーザ、縦横3×3セグメントの分割型形状可変鏡を含む集光光学系、HgCdTe検知器による光電変換系、及び同期検波器、パソコンによる演算制御器、補償光学鏡駆動装置等からなる信号処理系から構成される。本研究では、レーザの集光点に検知器を置いた直接検知方式で実験を行った。本装置の特徴としては、補償光学鏡の駆動ピエゾ素子を初めて2ピエゾ方式にし、ディザー振動及びストローク駆動の機能を分離した。簡単に、制御原理を述べる。レーザ光は、補償光学鏡を通して検知器に集光される。このときに補償光学鏡の各ミラーに異なる周波数で波長の20分の1程度の微小振幅を加えると、検知器上の結像点において各小開口のミラーからのビームの重なりにより輝度変調(位相変調)が生じる。この輝度変調成分の基本波及び奇数次高調波成分の大きさは、波面歪量が最小のときに最小になる特徴がある。この特性を用いて、補償光学鏡を制御することにより結像点のレーザピーク強度を向上させることができる。

筆者らは、まず基本制御性能の最適化を行った。また、Ge位相板により静的な波面歪を光路中に発生させたときの補償実験を行った。これらの実験により以下のようなことが明らかになった。(1) 補償後の補償精度をマッハツェンダ干渉計を組むことにより測定し、干渉縞の歪具合から約 $\lambda/19$ (rms)の精度で補償が可能であることが分かった。この値は、光学系の理論的な補償

精度とほぼ一致した。(2)補償時間は、 $S/N$ 比10以上で830msの最短補償時間が得られた。(3)補償前後の集光パターンの測定により、補償後のレーザーピーク強度は、最大3倍まで改善された。(4)静的な波面歪の補償実験を行い、補償前後の結像パターンの解析及び実験結果は、非常によく一致し、高い補償効率で補償が可能であることが分かった。

次に、ガスヒータを用い、光路中に大気ゆらぎを模擬した動的な波面歪を発生させ、補償実験を行った。検知器の飽和特性を利用すると、補償時間が未飽和時の約16分の1(55ms)まで短縮できた。この高速補償モードにより動的な波面歪に対する補償実験を行った。Fig.2は、補償前後の検知器信号の時間変化であり、Fig.3は補償前後の検知器信号の周波数スペクトラムである。補償後、検知器信号は約4倍に増加し、周波数スペクトラムに含まれる $1/f$ ゆらぎ成分はほぼ完全に抑圧され、大気ゆらぎの自動補償が実現できていることが分かる。Fig.4に補償前後の焦点面の結像パターン(サンプリング時間:14ms)を示す。この図から集光ビームパターンは、補償後にほぼ回折限界のエアリーディスクパターンに変化していることが分かる。本実験により、各ミラーの開口より小さい細かい波面歪の補償はできていないものの、大気ゆらぎを模擬した動的な波面歪の補償が可能であることをわが国では初めて確認した。

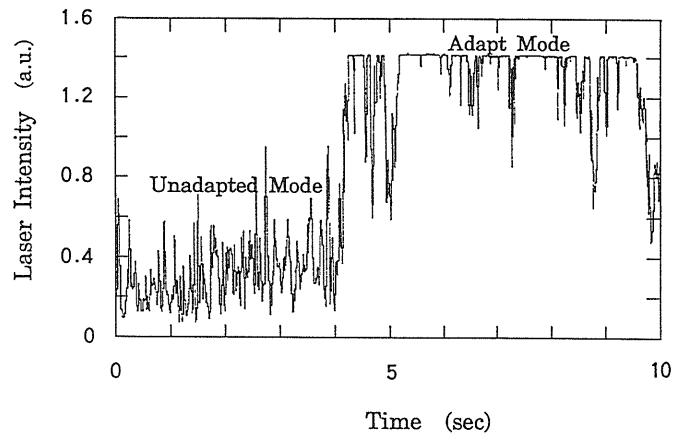
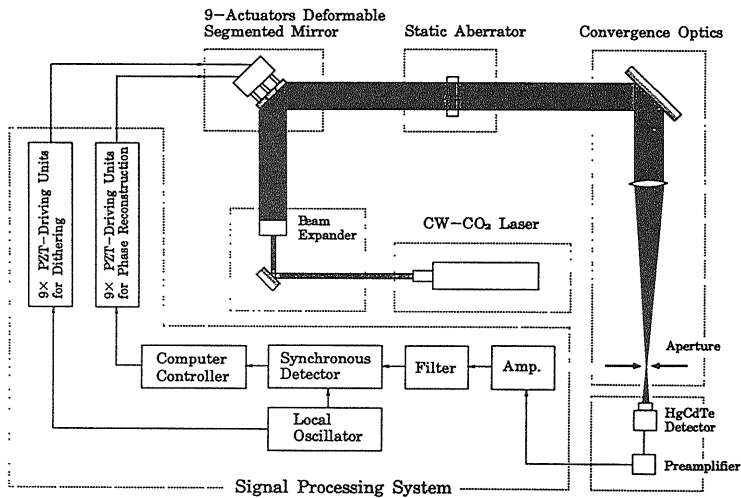
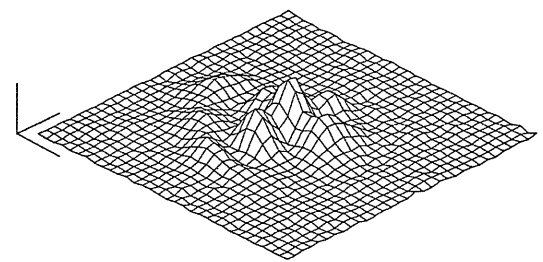
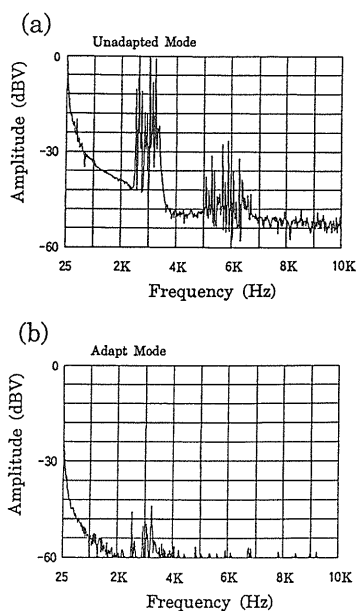


Fig.2 Time history of detector output signal.

Fig.1 Schematic diagram of multidither adaptive optical system.

(a) Unadapted Mode



(b) Adapt Mode

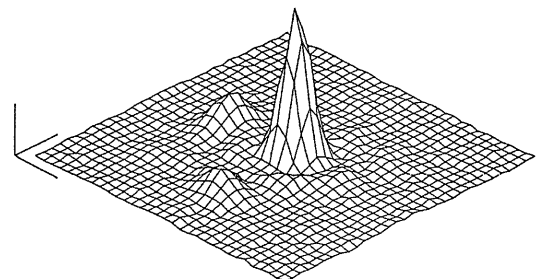


Fig.3 FFT spectrum of detector signal.

Fig.4 Converged beam pattern at focal point.