

Research of Space-borne coherent Doppler lidar

水谷耕平¹, 板部敏和¹, 石井昌憲¹, 篠野雅彦¹, 青木哲郎¹, 浅井和弘²
 K.MIZUTANI¹, T.ITABE¹, S.ISHII¹, M.SASANO¹, T.AOKI¹, K.ASAI²

¹通信総合研究所、²東北工業大学

¹Communications Research Lab., ²Tohoku Institute of Technology

CRL has made feasibility study on the coherent Doppler lidar for demonstration onboard the Japanese Experiment module of the International Space Station. We are in parallel developing an airborne coherent Doppler lidar system to measure wind profile under a jet plane. This system is also operated in the ground to develop algorithm of the wind measurements.

1. はじめに

気候予測や天気予報において大気風の分布情報は不可欠であるが、現在利用できる風のデータは限定されており大気風分布をグローバルに均一に得られる衛星からの大気風計測技術が切望されている[1]。衛星搭載ドップラーライダーはグローバルに対流圏の風の高度分布を測ることのできる観測装置であると考えられており、その開発に対する要望は強い。しかし、近年有望視されている全固体化レーザを使うドップラーライダーによる風観測はようやく始まったばかりで、これまで宇宙環境で利用されたことはない。実用衛星による運用に先立ち衛星搭載ドップラーライダーの有用性を実証するためのシステムの開発を行い、宇宙実証をおこなう必要がある。我々は衛星搭載ドップラーライダーの宇宙実証を目指し、目に安全な2 μ m固体レーザを使った対流圏大気風観測用コヒーレントドップラーライダー(CDL)の研究を進めている。

2. 衛星搭載ドップラーライダー

我々は宇宙実証実験の一つの候補として国際宇宙ステーション(ISS)の日本の実験棟(JEM)曝露部(EF)搭載コヒーレントドップラーライダー(JEM/CDL)を検討してきた。地球観測委員会のコヒーレント・ドップラー・ライダーサブグループ(主査 岩崎俊樹東北大学教授)において「宇宙ステーション搭載コヒーレントドップラーライダーの風観測に関する科学計画」が提出された[1]。この報告書の中で、JEM/CDLによって観測される風の観測精度に対する要求がTable 1のようにまとめられた。

	境界層	下部対流圏	上部対流圏
	0-2km	2-6km	6-15km
鉛直解像度	0.5km	1.0km	1.0km
水平解像度	100km	100km	100km
精度(ベクトル風)	2.0m/sec	3.0m/sec	5.0m/sec

Table 1 Science Requirement for JEM/CDL

対流圏の風観測に対して水平分解能100kmで精度2.3m/sのベクトル風観測精度が要求された。したがって、JEM/CDLの目標はJEMの曝露部標準ペイロードにCDLを搭載し、宇宙から対流圏の水平風ベクトルをグローバルに2.3m/sの精度で測定する事である。

視線方向の風速は大気中のエアロゾルからの反射光をヘテロダイン検波して観測され、水平ベクトル風は斜め前方、斜め

後方の2方向の視線速度の合成により得られる。

したがって、2方向から風速測定を行える機構が必要である。そのため2つの固定した40cm望遠鏡により斜め前方と斜め後方を観測することを考えている。また、全固体レーザとして2J出力10Hz繰り返しのものが必要であり、現在はTm,Ho:YLFレーザ($\lambda:2.06\mu\text{m}$)を候補として検討し、小型モデルの試作

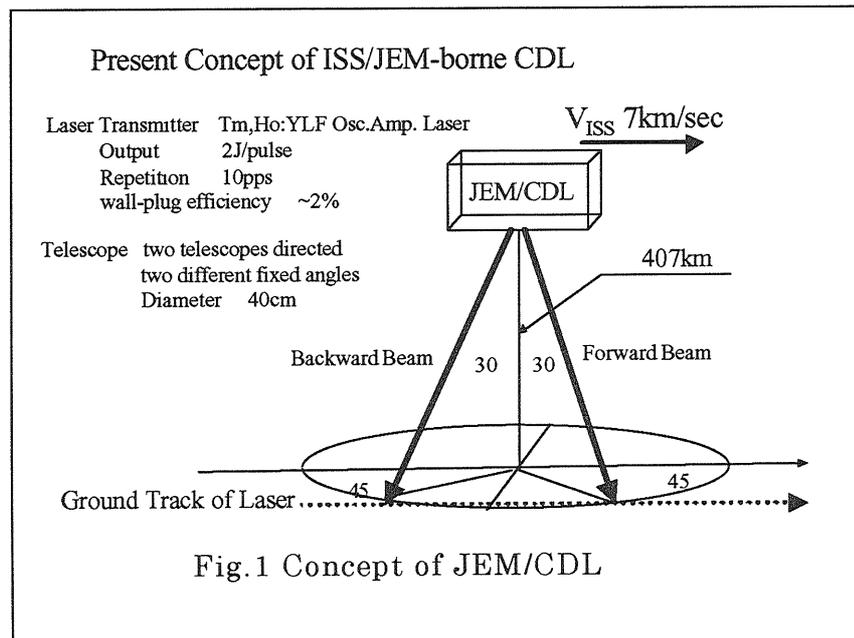
実験も進めている。JEM搭載モデルではマスターレーザにより注入同期された発振器と増幅器を2段から5段持つレーザにより2J出力10Hz繰り返しの性能を引き出す事を考えている。この時レーザは1250Wの電力を必要としエネルギー効率は1.6%になる。小型モデルの試作実験検討では0.5J出力のTm,Ho:YLFレーザの開発を行いつつある。0.5J出力のレーザはMOPA方式のパルスレーザであり、増幅器の性能を確認するのが目的であるが、これが達成できると2J出力のレーザに対する見通しも得られる。

Fig.1には現在のJEM/CDLの仕様を示した。10Hzで前後に交互にレーザを打つ時、70ショットが水平距離100kmに対応し、その平均から予測される風速誤差は科学計画の要求を満たすと予想している。但し、測定誤差の予測はエアロゾル分布への依存が大きい。

曝露部標準ペイロードのリソース制限は、重量が500kgで電力は3kWである[2]。現在のモデルでは全質量は470kgで電力は1489Wであり制限内に有る。しかし、JEM全体での電力がわずか5.4kWしかないため、JEM/CDLの運用に関しては他の装置とのスケジュールの調整が必要であり、電力消費量を減らす事は重要である。

電力のかなりの部分はレーザが使う。その時に出る排熱はJEMの液冷系に逃がさねばならない。レーザの高効率化は消費電力と排熱の双方にとって重要であり、そのための実験検討を進めていく必要が有る。現在のJEM/CDLのモデルではレーザロッドの冷却装置の熱を液冷系に逃がしているが、これを放射冷却で代用できると500Wもの電力削減になる。フリーフライヤーによる実証、或いは将来の定常観測衛星では放射冷却が使えらるし、JEM/CDLモデルでも放射冷却の有効利用の検討の余地は有る。また、最近では共通化した衛星バスにセンサーを積んで300kgでいどの小型衛星の打ち上げをNASDAに頼らず行う方向もでてきており、小型軽量低消費電力化は衛星観測の実現のためには重要な要素である。

ヨーロッパ宇宙機関(ESA)ではインコヒーレントドップラーライダーにより風の1方向だけを測定するA



DMミッションが走り始めている[3]。一方、米国NASAでは対流圏の下部をコヒーレントドップラーライダーで、上部をインコヒーレントドップラーライダーで観測するハイブリッドドップラーライダーシステムが考えられつつある[4]。コヒーレントとインコヒーレントの理論的な性能比較はCRLでも行い、インコヒーレントなシステムで2 m/sより良い観測精度を出すのはかなり難しい事が分かってきた[5]。

世界的にはESAのインコヒーレントドップラーライダーに対し、日本のコヒーレントドップラーライダーの実証実験提案がドップラーライダーの有効性の宇宙実証を目指して出されている。さらに米国が両方式を含んだ案を新たに考えようとしており、このなかのコヒーレントドップラーライダー部分との共同研究が重要になってくる。また、ドイツやフランスにもコヒーレントドップラーライダーの研究グループがあり、これらのグループとも研究協力をしていく必要がある。また、コヒーレントドップラーライダーの実利用として、航空機の安全航行のために乱流検出を行うコヒーレントドップラーライダーの開発を進める動きがあり、我々も積極的に寄与するとともに、そのような開発を行っている人たちとも協力を行っていく必要がある。

3. 地上及び航空機観測

衛星搭載モデルの検討と共に、衛星搭載モデルのシミュレーターになる航空機から大気風を観測するための航空機搭載ドップラーライダーの開発を進めている[6]。この装置を使いコヒーレントドップラーライダーによるドップラーシフト抽出アルゴリズム、航空機の姿勢・速度を補償するアルゴリズム、風速分布測定アルゴリズムを航空機実験を行いながら研究する。また、衛星搭載実験が行われたときには衛星データ検証実験に使用される。

この航空機搭載ドップラーライダーを取り外し地上において上に向け対流圏の風を測定することができる。Fig. 2には1000ショット平均のスペクトルの高度分布を示した。この図で1MHzが風速1m/sに対応する。風が高度と共に滑らかに変わっている様子が見て取れる。

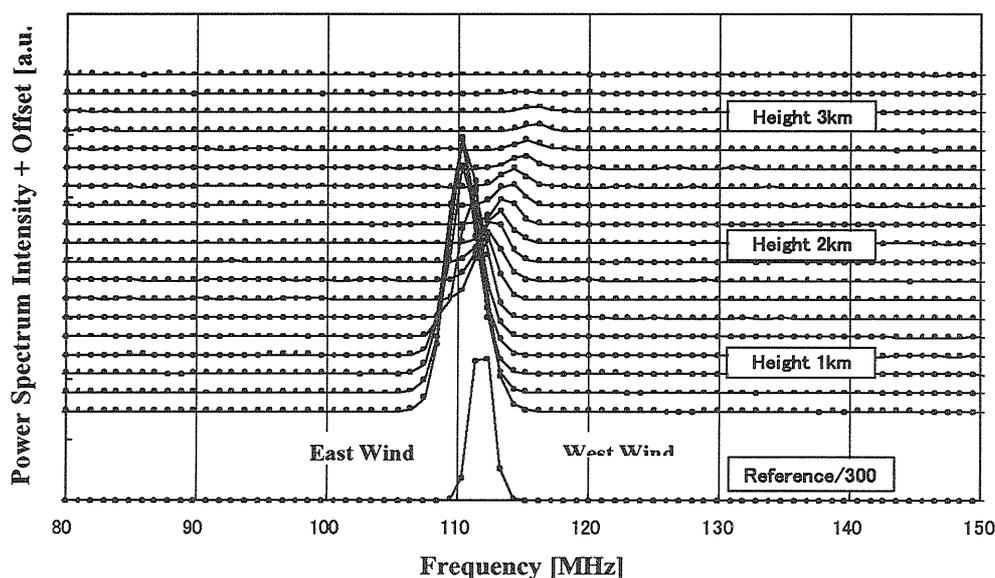


Fig.2 Spectra observed with coherent Doppler lidar

5. むすび

衛星搭載ドップラーライダーは対流圏の風の鉛直分布をグローバルに1-2m/sで観測できる可能性があり、現在の風データの分布と精度の不足を解消する観測手段として期待されている。将来極軌道衛星に搭載されて定常的に利用されると気象観測の大きな柱になる事も考えられる。また、ドップラーライダーで得られる風データはドップラーシフトから直接測定される観測量で、他の観測データの検証や校正に使われる可能性もある。しかし、ドップラーライダーは宇宙でいまだ使われた事はなく、ドップラーライダーが宇宙でオペレーションでき、その観測結果が実際に天気予報や気候モデルの改善に役立つ事を実証する事が必要である。

現在までCRLではJEM/CDLとしてJEM曝露部に搭載可能で科学計画の要求に適合するモデルを検討してきた。今後も高効率化や重量削減、要素技術の確立を進めていくとともに、JEM以外の搭載可能性についても検討を行っていく。地上や飛行機からの風測定実験を通じた、アルゴリズム開発も同時に進めていく必要が有る。

参考文献

- 1 岩崎 他, "宇宙ステーション搭載コヒーレントドップラーライダーの風観測に関する科学計画書", 地球観測委員会/CDL-SG、地球科学技術推進機構, 1999.
- 2 "JEM曝露部利用の手引き", 宇宙開発事業団, JBX-96154A, 1998.
- 3 ESA SP-1234-4, "Report for mission selection; The four candidate earth explorer core missions".
- 4 G.D.Emmitt, "Hybrid technology Doppler wind lidar: assessment of simulated data products for a space-based system concept", SPIE, Vol.4153, p366, 2001.
- 5 石井他, "衛星搭載を目的としたインコヒーレントドップラーライダーの風速誤差の検討", 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 22, p423, 2002.
- 6 石井他, "航空機搭載コヒーレントドップラーライダーの開発", 本予稿集, 2003.