

## B-4 森林の二酸化炭素吸収の評価手法確立のための大気・森林相互作用に関する研究

### (4) 航空機による炭素吸収の地域特性の観測

航空宇宙技術研究所	航空エンジン部 飛行研究部	田丸 卓、山本 武、田頭 剛 矢澤 健司、坂井 紀穂、照井 祐之、 栗栖 健、鎌田 幸男、向井 清剛、 稲垣 敏治、井之口 浜木
国立環境研究所	地球環境研究センター 地球環境研究グループ	井上 元 町田 敏暢
地球フロンティア研究システム	大気組成変動予測研究領域	Shamil Maksyutov

平成 11～12 年度合計予算額 16,979 千円

(平成 12 年度予算 8,490 千円)

[要旨] 本研究の主目的は、航空機観測により二酸化炭素および森林の植生に影響する化学物質の挙動を把握できる計測法を開発することである。従来行われている大気中微量成分濃度の測定に加えて、気流特性データおよび地域データを、航空機により同時に計測処理する手法を目指した。この2年間では航空機の運航計器に加え、①搭載三次元風速測定機器の静止基地観測値との計測値比較、②多種の微量ガス成分を同時測定できる FTIR 計測器の航空機搭載試験、③苫小牧の試験林上空での二酸化炭素のフラックス(質量輸送)測定を行った。

[キーワード] 二酸化炭素、温室効果ガス、航空機観測、超音波風速計、フラックス、FTIR

#### 1. はじめに

地球温暖化の原因と云われる温室効果ガスの大部分は、航空機エンジンや自動車、あるいは産業用燃焼機器から排出される燃焼ガスでもある。その主要成分である二酸化炭素やメタンガスの大気中濃度は産業活動が活発になったこの100年間、地球規模での増加を続けている。その異常な増加の原因を究明し、定常値に抑制する手段を講ずる上からも、それらの温室効果ガスの自然界での発生・吸収の定量的な把握が大きな関心を呼んでいる。

ここでは航空機により、それらの大気汚染ガスの濃度と移動速度成分を、詳細かつ精密に計測し、大気中の汚染ガスの挙動を詳細に把握する手法を開発しようとした。

この半世紀近く、大気中微量成分の濃度観測は各地で行われてきた。特に近年、地上での計測は地球的な規模で固定観測所が設けられ、データの蓄積が計られている。しかし炭酸ガスやメタンのような局地的に吸収・発生のあるガスについては、その質量移動の定量的な把握が困難で、航空機、あるいは気球などによる三次元的な計測が期待されている。気球は大気と共に移動するため大気中微量物質の局所的挙動を広範囲に知るには適当とはいえない。気流の如何に関わらず現場で観測ができる航空機計測がもっとも有利である。これまで航空機による計測はその高速移動という特質のため、大気中の微量成分が徐々に移動する現象の把握が困難であった。

ここでは超音波風速計が三次元の風速成分を高精度で測定できることに注目し、その絶対座標

系(地表基準)で正確にガスの流動を測定できる手法の開発を目指した。

これまでの超音波風速計の改良により三次元的気流を高感度、高精度で測定できることが風洞試験により確認できた。しかし航空機に装備した場合、機体の姿勢の変化や機体周囲の気流の変化により地表を基準とした座標上での高精度の絶対風速の測定は、種々の修正・校正が必要であるが、その検証がなされていなかった。本研究では地上に設置してあるレーダー基地での大気流動計測値と航空機搭載超音波風速計による値を比較照合することにより、それらの修正・校正の妥当性を検証した。

温室効果ガスとして炭酸ガスは世界各地で観測が行われるようになってきた。その他の大気微量ガスであるメタンや一酸化炭素、および亜酸化窒素を含む窒素酸化物についても互いの存在に影響を与えるため、同時に計測することが望ましい。エンジン排出物のひとつである窒素酸化物も、酸性雨の原因となり森林植物等に影響を与えるものとしてその流動が関心を持たれている。また特に窒素酸化物は他の微量ガスとの反応により種々の化合物に変化することが知られている。

それらの化学物質を測定する計測器は近年多数製作、改良されてきた。しかし航空機に搭載できるような安全性が高く、高精度で高速の応答性をもち、かつ軽量頑健な計測器は少ない。そのうちでも廉価に頻繁な計測が可能な小型航空機に搭載して、多種の化学物質を同時に計測できる軽量な計測器が要望されている。

多種の化合物の微量濃度を同時に測定する計測器としてフーリエ変換方式赤外分光計測器(Fourier Transformer Infrared detector, 略して以降 FTIR)がある。従来、その原理に基づくものは重量が高み、光学的に華奢な計測器であった。最近、可搬型の機器として市販されているものがある。感度や精度は今問題にしている微量大気成分に対しては不十分であるが、測定原理として将来発展性のある計測器と思われる。ここでは第一段階として航空機搭載により機器動作が十分な機能を発揮するかどうかを試験してみる。

この気流の絶対流速ベクトルの三次元測定と多種化学物質の濃度測定手法を成功裡に組み合わせることができれば、森林の炭酸ガスの吸収・放散や、空港、火山などからの汚染ガス発生・拡散のように、局所汚染源からの微量大気汚染物質の発生、流動などの物質輸送状態を定量的に把握できることになり、極めて応用の広い技術となる。

## 2. 研究目的

航空機により局所的な二酸化炭素などの地域データとその他の炭素含有大気微量成分、および気流特性データを同時に計測、処理しフラックスを測定する手法を確立する。そのために、航空機の運航計器に加え、三次元風速とガスの同時測定によるフラックス計測法を開発・検証し、また、大気微量多成分濃度測定器の航空機搭載計測の可能性を検証し、有機的連携計測法の確立を試みる。

## 3. 研究方法

ある地域の大気微量成分の吸収・発生・移動を把握するには、位置、高度、速度、時刻、姿勢、向きなど飛行データを GPS (衛星測地システム)、U-sonic (超音波風速計) および IRS (慣性セン

サー)などで取得するとともに、風速計とガス濃度測定機器のデータと組み合わせる必要がある。それらの機器相互の関係を示すブロック図を図1に示す。今回の計測試験ではガス濃度計測器として、実績のある炭酸ガス測定のため非分散赤外方式計測器(Li-6262)を用いた。総合的にデータはパソコンに取り入れ、処理する。

### 3.1 航空機による絶対(地表基準)風速の測定

超音波風速計は2つのセンサー間を伝播する音波の到達時間の差から移動速度を知るものである。航空宇宙技術研究所(以降、航技研)で開発した超音波風速計を図2に示す。同図に示すフォーク状の4本の枝には、上下と左右がそれぞれ対をなした超音波発信/受信のセンサーを備えている。左右の枝は二対のセンサー(間隔 50mm)を備えている。それらにより三次元風速計測が可能である。

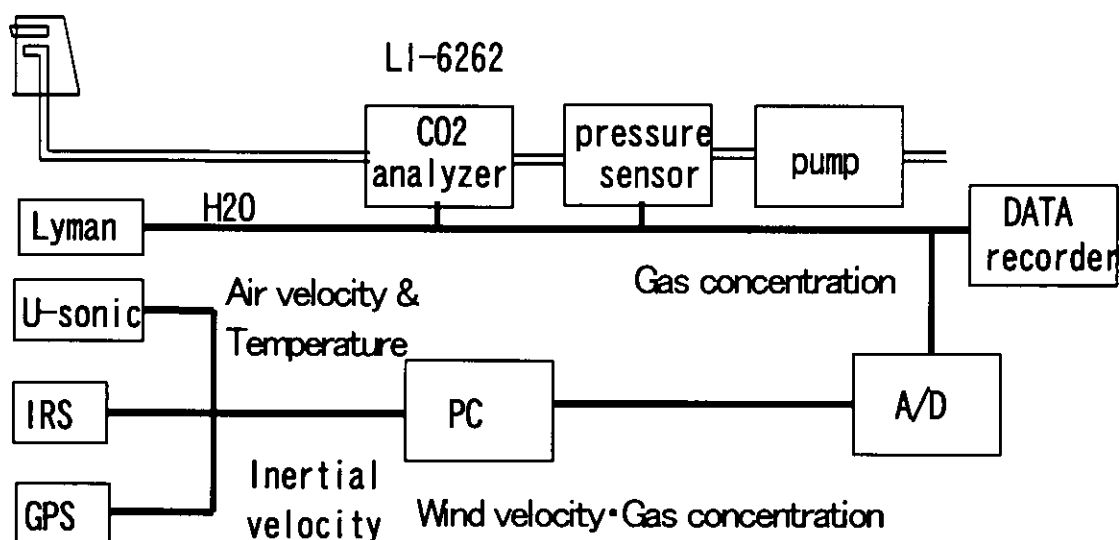


図1 計測システム系統図

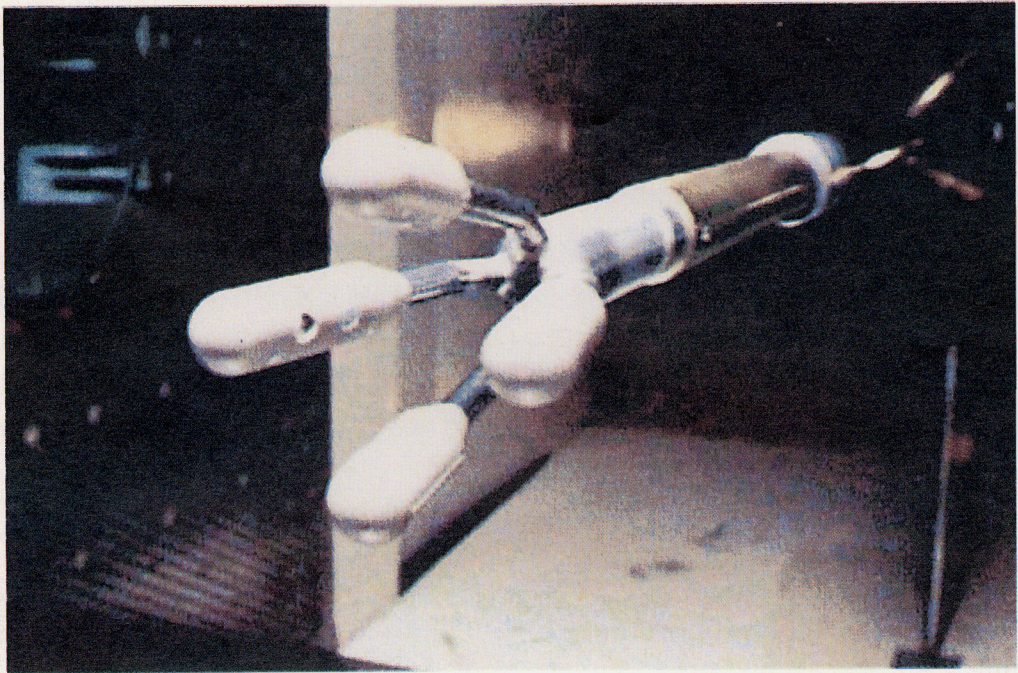


図2 風洞の中の超音波風速計



図3 航空機先端部に装着した超音波風速計

これまでの風洞試験により x 方向最大風速 96.1 m/s(気圧 50 kPa=高度 5.5 km 相当)で誤差が 1m/s 以内、z 方向の誤差が 0.2m/s 以内、分解能が 0.005 m/s で測定できることが確認されている。時間分解能は 20 Hz である。これを航空機に搭載し森林に關与する大気微量成分の計測を行う場合、その計測センサーを搭載した航空機の姿勢、傾き、航空機周囲の気流変化等への補正を行い、地上を基準とした座標系での三次元風速ベクトルを得る必要がある。超音波風速計としての三次元気流計測は風洞試験によって確認した。図 3 に航空機先端部に搭載した超音波風速計を示す。

以下に航空機に搭載したときの補正法について略述する。<sup>(7)</sup> 航空機の対気速度( $V_a$ )、と対地速度( $V_g$ )の差から風( $V_w$ )を算出できる(図 4 参照)。対地速度を測るセンサー位置から超音波風速計を指す位置ベクトルを  $l$  とし航空機の角速度ベクトルを  $r$  としたときの回転による補正ベクトル  $e = l \times r$  を加えると風は式(1)のように求まる。

$$V_w = V_g - V_a + e \quad (1)$$

航空機の対地速度( $V_g$ )は慣性センサー(IRS)から得られるが加速度等の積分誤差から速度ドリフトがある。そこで、これを取り除くため GPS との速度差をスムージングして次式のように補正している。

$$V_g = V_{IRS} - \sqrt{(V_{GPS} + V_{IRS})} \quad (2)$$

一方、航空機の対地速度は超音波風速計から得られた  $V_{xyz}$  を座標変換マトリックス  $R_{\delta\epsilon\phi}$  により慣性座標に式(3)のように変換する。

$$V_a = R_{\delta\epsilon\phi} V_{xyz} \quad (3)$$

式(1)の  $e$  は位置ベクトル  $l=(l_x \ l_y \ l_z)$ 、角速度ベクトル  $r=(p \ q \ r)$  により生じる速度を慣性軸に座標変換すると次式に示す補正速度が生じる。

$$e = R_{\delta\epsilon\phi} \begin{bmatrix} 0 & l_z & -l_y \\ -l_z & 0 & l_x \\ l_y & -l_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (4)$$

今回超音波センサーを取り付けた位置は機体軸上にあり  $l_y=l_z=0$  である。

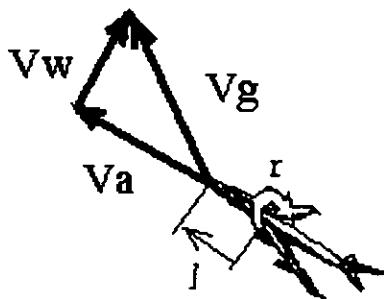


図 4 航空機の運動と風の関係

超音波風速計の飛行中における計測精度確認試験のため、京都大学宙空電波科学研究センター信楽MUレーダー観測所での飛行試験（平成12年2月）を行い、MUレーダーデータと飛行試験で得られた風データを比較した。

MUレーダーは中層・超高層および下層大気観測用VHF帯大型レーダーである。直径約100mの敷地内に475個のアンテナが設置されている。それらのアンテナから発せられるレーダー波の位相を制御して送受信のビームの方向を変えて、乱流による屈折率の変化から生じる反射波のドプラシフトを測定することによりビーム方向の風の速度を測る。下層対流圏の風を観測するために垂直方向、南北方向及び東西方向の5方向の速度を測り東西、南北及び垂直方向の風速を測定する。

### 3.2 FTIR の航空機搭載試験

今後の森林およびその他の大気微量ガスの存在する地域での微量ガス濃度測定への応用を考慮して、今回FTIR方式の計測器の航空機搭載を計画した。この計測器は光学的な波長干渉を原理とした計測器で、未知のガスも含めた種々のガスを短時間で計測できる能力をもつ。しかし航空機に搭載して計測した報告はほとんどない。今回、地上で使用されている市販の計測器を、航空機に搭載して試験するため、減圧環境で規定温度の被計測ガスを規定された流量条件で計測器に導入するための前処理装置を設計製作した。

前処理装置は搭載予定の航技研所有クインエア機(B-65)の搭載条件(強度、耐加速度、電源、電磁干渉、減圧など)に合わせ、かつ耐空性審査に適合するように、設計・製作を行った。平成12年度にFTIR方式のガス濃度計測器を航空機に搭載し、耐空性審査を受けた。その後、試験飛行を行って機能確認を行った。

FTIR装置は図5に示すように可動ミラーをもつ干渉計により特定波長の変調を行い、被検ガスの赤外吸収スペクトルをフーリエ変換によりを検出し、既知ガスのスペクトル特性データベースを基にガスの種類と濃度を同定するものである。また想定外のガス成分があった場合にもデータベース(約140種)にある化学種である限り同定が可能である。

通常、この原理に基づく計測器は可動ミラーや複雑な光学系をもつため、航空機に搭載して計測することは困難と考えられてきた。しかるに最近、可搬型の比較的堅牢と思われるFTIRが市販されるに至り、その応用が考えられるようになった。ここではその地上仕様の市販計測器を航空機に搭載して正常に機能するかどうかの試験を行った。本研究で用いたFTIR(GASMET DX9000)の概観を図6に示す。

測定仕様に従うと、この計測器には大気圧、温度50℃状態の試料ガスを供給する必要がある。そのため、調圧/調温のための前処理装置(大気調整装置)を製作した。図7に大気調整装置系統ブロック図を、図8に外観を示す。計測器正面左側に各部計測値表示を右側に操作バルブと定圧部が設けられている。森林等の問題となるガスの対流、移動範囲からして高度4,000mまでの外気圧力、温度の変化に対応できる仕様とした。

計測装置の全体系統図を図9に示す。機外よりポンプを用いて導入された大気(サンプルガス)は、大気調整装置により1018~1023hPaに昇圧された後、FTIR分析装置に送られる。サンプルガスはヒーターにより50℃まで昇温され、FTIRに導入され分析された後に出口で温度を計測した後、大気調整装置に送り返され排気される。窒素ガスはバックグラウンドの計測と、FTIR

内部のパーズに用いられる。

初回の飛行試験は平成 13 年 2 月 2 1 日、北関東上空で行った。計測は 5000ft、10000ft の 2 高度で行った。

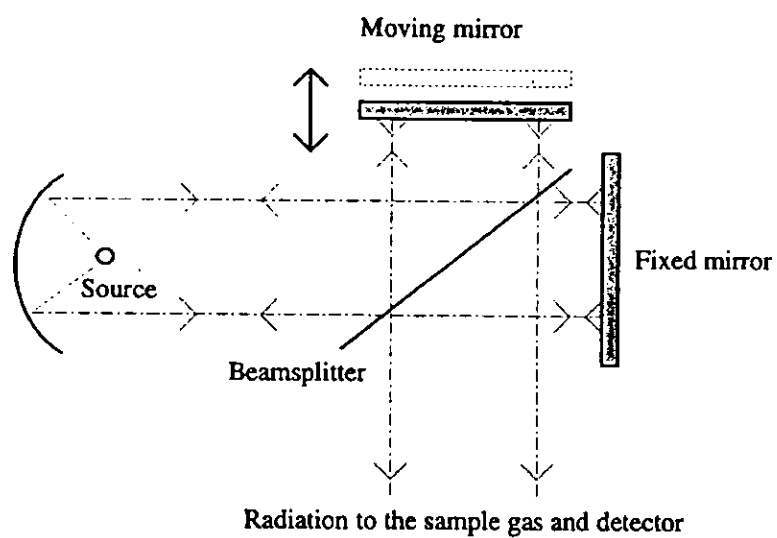


図5 FTIR の可動ミラー干渉計

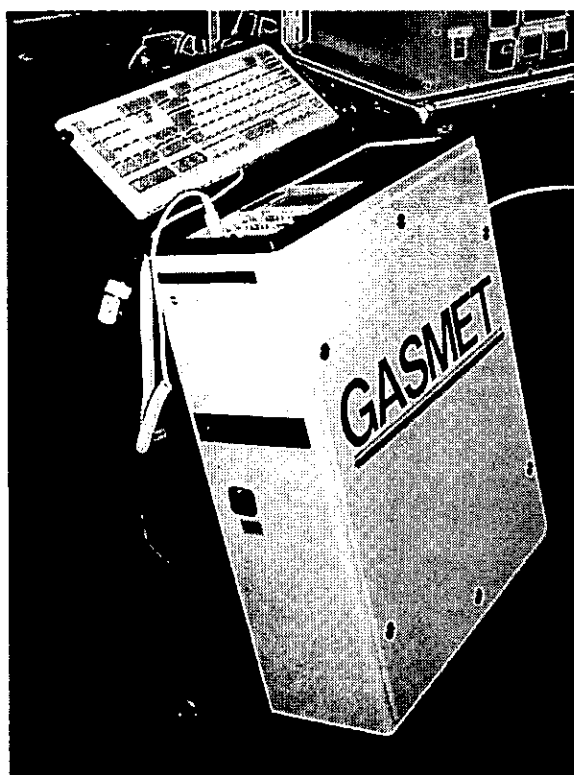


図6 FTIR 計測装置外観

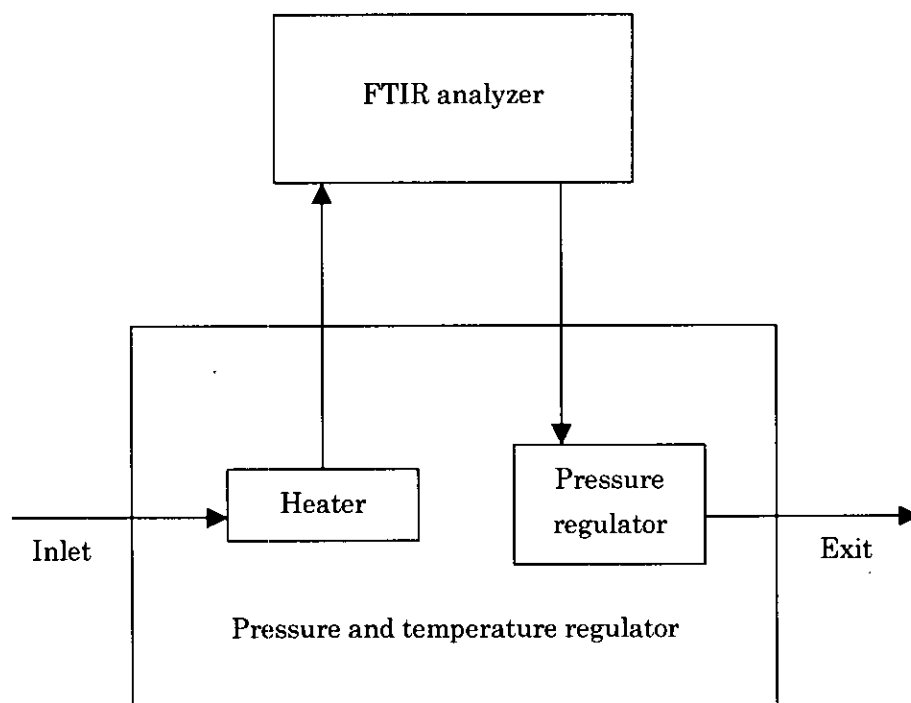


図7 大気調整装置ブロック図

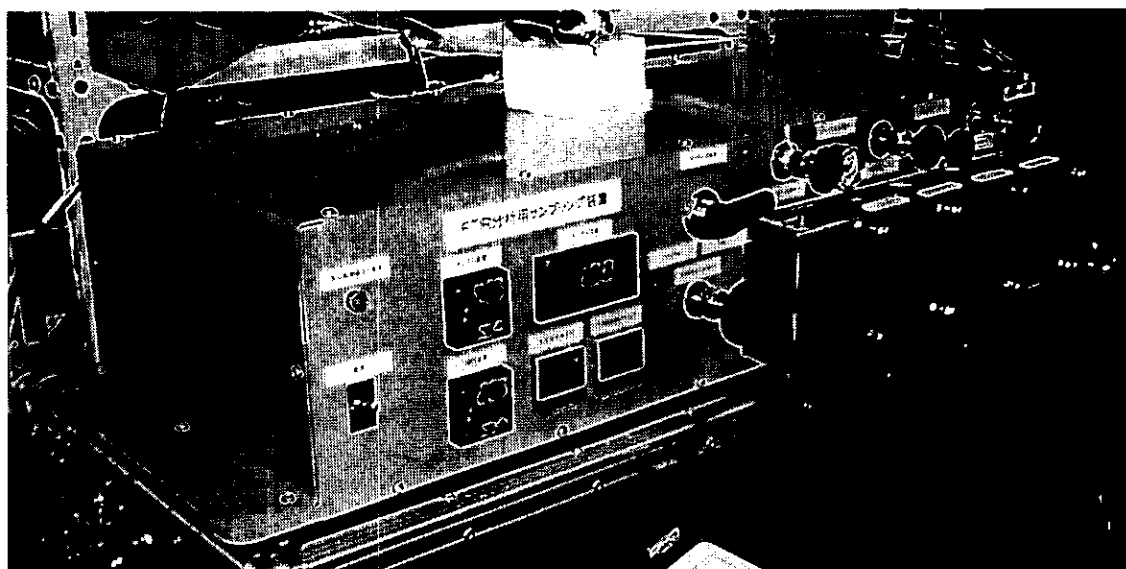


図8 大気調整装置外観



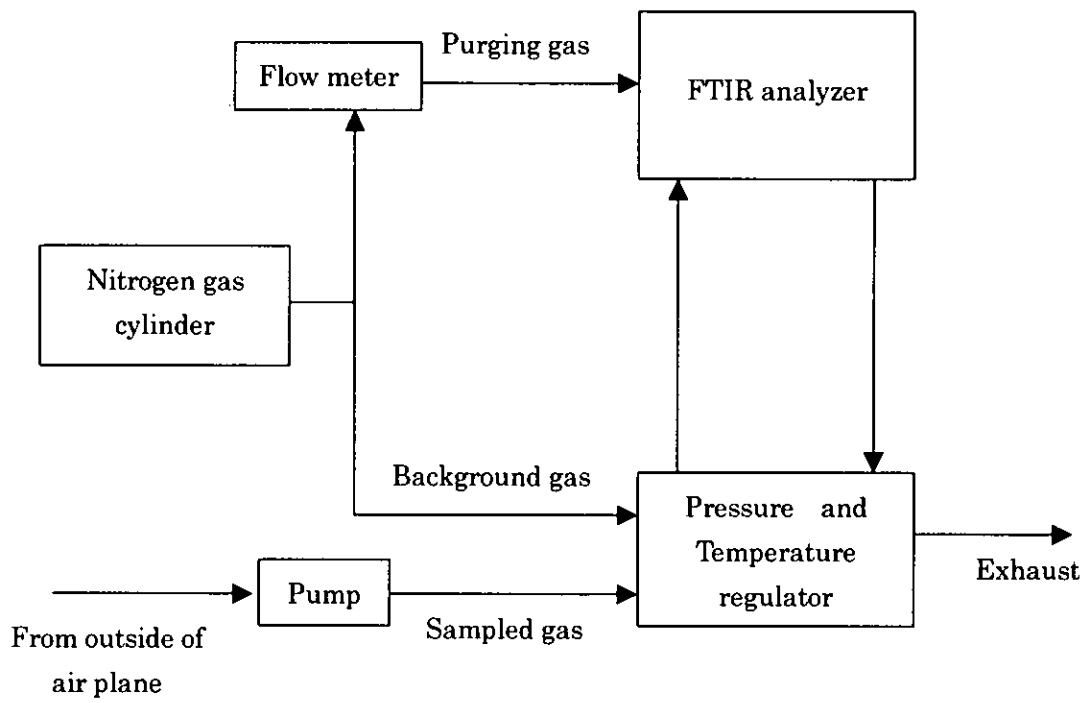


図9 ガス濃度計測器システム系統図

### 3.3 二酸化炭素のフラックス測定

二酸化炭素濃度を  $C$  とし、上下風速を  $W$  とすると、二酸化炭素のフラックスは(5)式のように定義される。ここで、二酸化炭素濃度の平均値を  $\bar{C}$  とし、変化分を  $C'$  とする。同様に、 $\bar{W}$  と  $W'$  を上下風の平均値と変化分とすると(6)式のように展開される。変化分の平均値は零になるために(5)式のフラックスの平均をとると(7)式ようになる。

$$C \cdot W = (C' + \bar{C}) \cdot (W' + \bar{W}) \quad (5)$$

$$= C' \cdot W' + C' \cdot \bar{W} + \bar{C} \cdot W' + \bar{C} \cdot \bar{W} \quad (6)$$

$$\langle C \cdot W \rangle = \langle C' \cdot W' \rangle + \langle \bar{C} \cdot \bar{W} \rangle \quad (7)$$

地上付近の上下風の平均値は地表という境界面があるために零に非常に近くなる。これによりフラックスは二酸化炭素と上下風の変化分の積の平均値のみで表される。しかし、航空機は地上の障害物から十分安全な間隔を取って飛ぶために安全高度以上で試験を行う。このことから上下風の平均値が零に近いという仮定は成り立たない。そこで、今回は(5)式を直接用いでフラックスを計算した。

## 4. 結果・考察

最終目的とした風速計とガス濃度計測器との組み合わせによる質量輸送計測について、航空機によるフラックス測定の可能性を示すことができた。以下には各計測器のそれぞれの試験結果について記す。

### 4.1 風速測定

MU レーダーでの観測データは、10分毎にアンテナからの高度 2000m 以上で 150m 間隔の 3次元風速ベクトルが得られる。航空機で飛行した同時刻、同高度における風のデータと比較するために、時間と高度を内挿補間して飛行機のデータと比較し、3次元風速の精度を確認した。この計測結果を図10に示す。飛行試験データは10分間の移動平均を行っている。MUレーダーのデータと航空機の風との差の平均値及び標準偏差は

$$\Delta V_{wn} = -0.9m/s, \quad \sigma_{wn} = 0.8m/s,$$

$$\Delta V_{we} = 0.2m/s, \quad \sigma_{we} = 0.8m/s,$$

$$\Delta V_{wz} = 0.005m/s, \quad \sigma_{wz} = 0.06m/s$$

となりMUレーダーに比較して良い一致が得られた。但し、垂直方向の平均値はオフセットが零になるようにセンサー付近の吹き上げ角を調整した。MUレーダーの垂直風の精度は 0.1m/s 程度とされている。

同図は横軸に経過時間を示している。図はそれぞれ鉛直方向、東西方向および南北方向の計測値比較を示している。

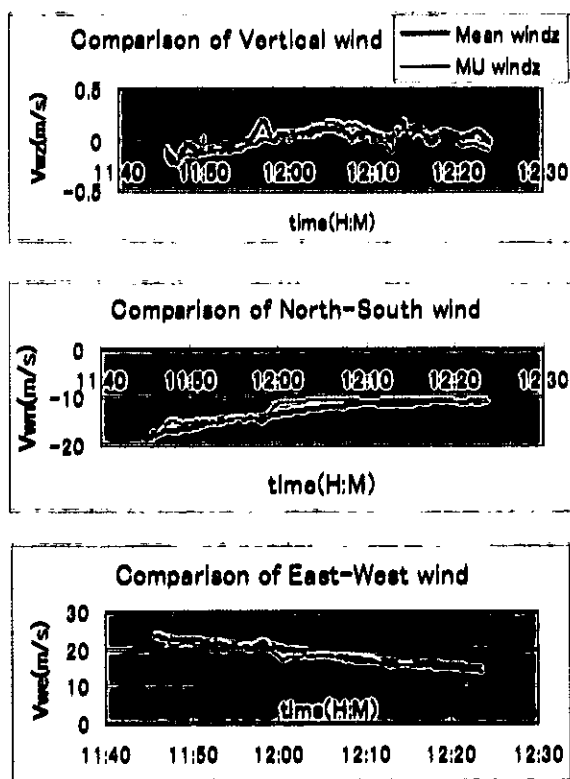


図10 MUレーダーと航空機に搭載した超音波風速計で計った風速の比較

#### 4.2 ガス濃度の計測

計測装置の地上予備試験 FTIR 装置の計測精度確認を行うため、当研究所で実施してきた大気観測による二酸化炭素の計測値の最小値・最大値と思われる2種の濃度の標準ガスを測定した。試験は地上にて行った。図11はその結果であり、FTIR の生データに圧力・温度による補正を施している。どちらの計測値も標準ガスとの差は4%程度であった。この相違は機器内圧力補正係数等の誤差にもとづくと考えられ、今後の入力値等の厳密化による修正で一致に近づくと判断した。この結果ほぼ十分な計測能力をもつと判断した。

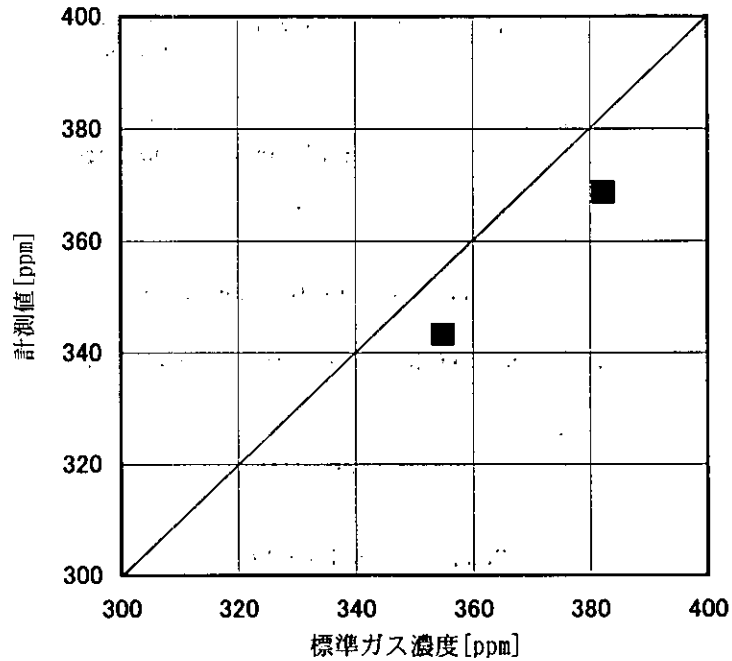


図 1 1 地上試験結果

**飛行試験結果** 今回、航空機に搭載するため、減圧環境で規定温度の被計測ガスを規定された流量条件で計測器に導入するための前処理装置を設計製作した。

前処理装置は搭載予定の航技研所有クインエア機(B-65)の搭載条件(強度、耐加速度、電源、電磁干渉、減圧など)に合わせ、かつ耐空性審査に適合するように、設計・製作を行った。平成12年度にFTIR方式のガス濃度計測器を航空機に搭載し、耐空性審査を受けた。その後、試験飛行を行って機能確認を行った。

飛行試験での計測値は地上試験と同様に、圧力・温度による補正を行った。飛行試験では他の計測器による同時計測ができなかったため、測定値を正確に評価することはできないが、標準的な大気中の二酸化炭素濃度360~380ppm<sup>(1)(2)</sup>と比較して、10%以上低い値となった。原因としては、雰囲気中の減圧によるFTIR光学系への影響、FTIRサンプルセル内ガス温度と計測した出口ガスの差の影響が考えられる。それらの原因特定を継続中である。

#### 4.3 苫小牧試験林上空での二酸化炭素のフラックス測定

2000年8月25日及び27日に苫小牧試験林上空で二酸化炭素のフラックス測定を行った。図12に苫小牧試験林上空での飛行試験の飛行パターンを示している。この空域は千歳空港に非常に近いために航空局及び自衛隊との事前調整を必要とした。高度は地上150m、300m、800m、1600mで幅約2km、長さ約10kmのコースで行った。

8月25日午前：試験は天気くもり、気温29度、気圧29.88in/Hg、10時52分~2時15分  
 高度：150m、300m、800m、1600m 各10分間水平定常飛行

8月25日午後：試験は天気くもり、気温29度、気圧29.88in/Hg、14時06分~14時35分  
 高度：150m、300m、800m、1600m 各10分間水平定常飛行

8月27日午前：試験は天気はれ、気温 25.5 度、気圧 30.04in/Hg、10時30分～12時10分  
高度：150m、300m、800m、1600m 各10分間、4000m 5分間水平定常飛行

8月27日午後：試験は天気はれ、気温 30 度、気圧 30.04in/Hg、14時05分～15時35分  
高度：150m、300m、各20分間、800m、10分間水平定常飛行

8月25日午前、午後の各高度に置いて大気サンプルを行った。

図13に8月27日午後 地上高度150mのケースの南北風、東西風、上下風及び二酸化炭素の計測結果を示す。20分間同じコースを繰り返し飛行しているため、周期的に同じパターンが現れている。これは場所により特有な風があり、特有なCO<sub>2</sub>濃度が存在することを示している。

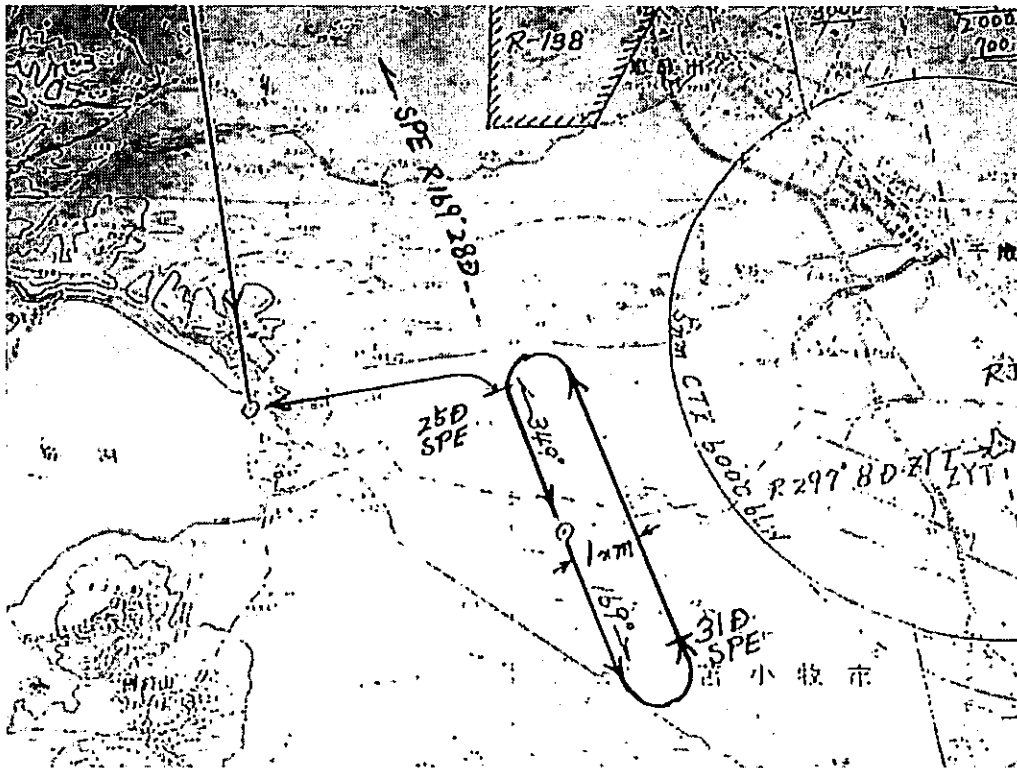


図12 苦小牧試験林における飛行パターン

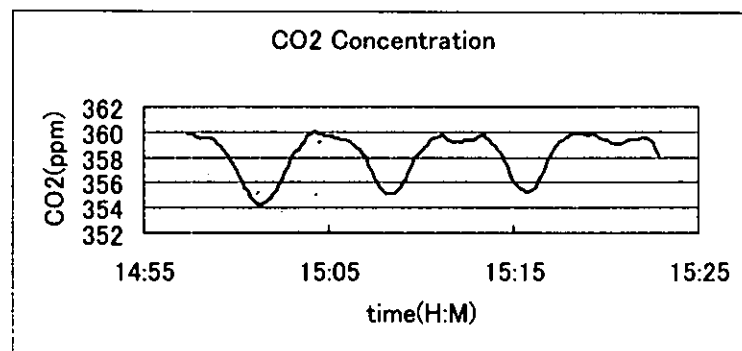
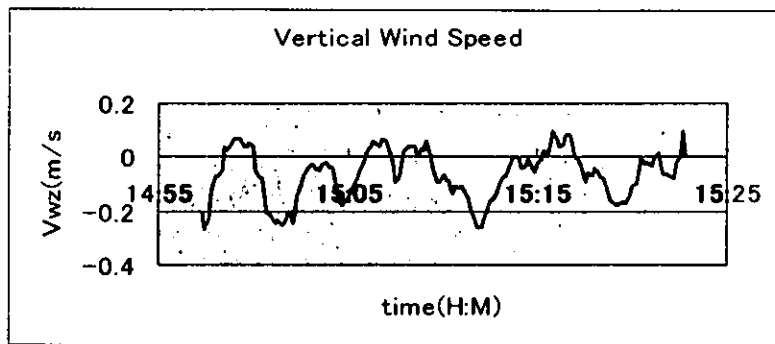
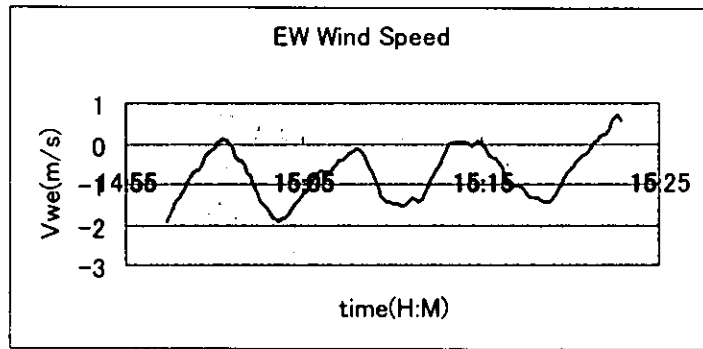
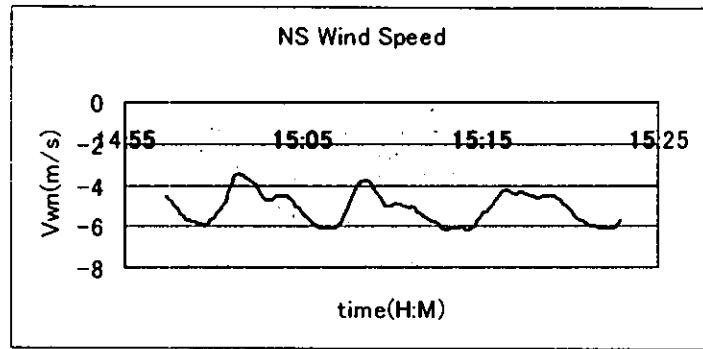


図 1 3 苫小牧試験林の測定結果

図 14 に上下風速と二酸化炭素濃度を掛けて 100 秒間の移動平均を行って各時間のフラックスを求めた。この結果、全体的にはシンク(吸収)を示しており、周期的な変化を示している。

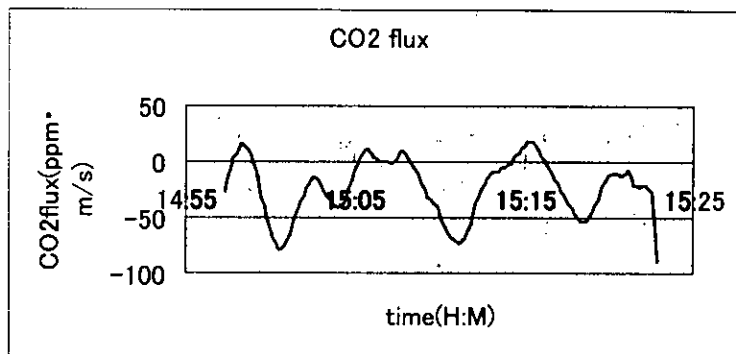


図 1 4 苦小牧試験林の二酸化炭素フラックス

図 14 のフラックスを縦軸に、横軸を経度でプロットしたものを図 15 に示す。これは苦小牧試験林の二酸化炭素フラックスの地域依存に傾向を明確に示している。東経 145.5 度から 141.55 度の間で大きなシンクが見られる。これは植生による吸収によって起こったのか、または温度や気圧の変化による下降風の為に起こったのか明らかではないが、二酸化炭素ガスの下降移動が起こったことは確かである。

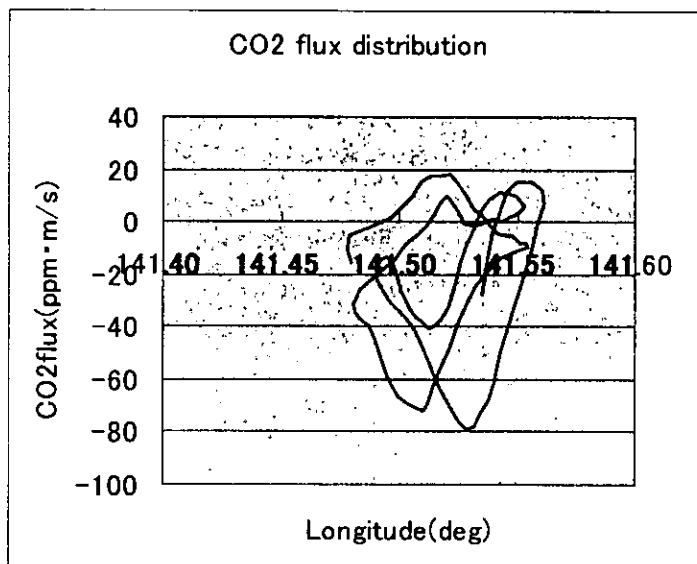


図 1 5 苦小牧試験林の二酸化炭素フラックスの地域依存

## 5. 本研究により得られた成果

本研究により、大気中の微量成分輸送を把握する上で不可欠な航空機上での超音波風速計による三次元風速測定技術を確立した。超音波風速計はこれまでも、地上での三次元風速測定に用い

られていたが、航空機に搭載した計測器としては実用化されていない。航空機に搭載すると、機体の移動の他、重心に対する取付け位置、機体の姿勢変化、周囲気流の変化等に対応して、計測値に修正を加える必要がある。

平成11年度までに超音波風速計の検定を行ってきた。初期の風洞試験にひきつづき、地上に設置されているレーダーの地表座標による風速データとその上空を飛行したときの航空機による風速測定とを対比する試験を行った。その結果、方位方向については0.9 m/s以下、鉛直方向については0.1 m/s以下(いずれも平均誤差)の高精度の値を得ている。標準偏差にして、水平方向0.8 m/s、鉛直方向0.06 m/sの差異であることが確認できた。

多成分の大気微量成分濃度を同時計測できるFTIR方式の計測器が、航空機の加速度、振動に耐えて使用可能であることが判明した。しかし信頼できる計測値はいまだ得られておらず、更に継続的な試験と検討が必要であることがわかった。

地上高度150m以上でフラックスを計測するときには、上下風速の平均は零にきわめて近い、という地上の観測タワーで行われている仮定は成り立たない。このためにフラックスの定義式を使い、上下風速とガス濃度を直接掛け合わせて平均して求める方法をとる必要がある。この方法によって苫小牧試験林上空におけるフラックスを求めることが出来た。しかし、このフラックスが植生による吸収や発生によるものとは断定できない。この事を明らかにするためにはガス濃度と上下風速だけを取り扱うのではなく、3次元風速、地上温度分布、大気温度分布、気圧分布及び水蒸気の分布等を3次元的に計測して、植生の特性と時間を含めた4次元空間でフラックスをモデル化し計測値と比較検討する必要がある。

この試験研究により航空機による3次元空間におけるフラックス測定の可能性を示すことが出来た。

## 6. 引用文献

- (ア) K. Yazawa, T. Tamaru, M. Shirai: Development of an Ultrasonic Anemometer for Local Flux Data of Global Warming Effect Gases, Proceedings of the Fourth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1995, Sapporo, Japan, December 1999
- (イ) 田丸 卓、矢澤健司、田頭 剛、町田敏暢、井上 元：航空機を用いた相模湾上空温室効果ガス等の鉛直濃度分布測定、航空宇宙技術研究所資料 TM-745、2000年1月
- (ウ) 町田敏暢、矢澤健司、田頭 剛、井上 元、田丸 卓：相模湾上空における大気中二酸化炭素濃度の航空機観測、航空宇宙技術研究所報告 TR-1422、2001年1月

### [国際共同研究等の状況]

特に無し

### [研究成果の発表状況]

#### (1) 誌上発表

- ① K. Yazawa, T. Tamaru, T. Tagashira, T. Sakai, G. Inoue, S. Maksyutov and T. Machida: Flux Measurements of Greenhouse Gases by the Aircraft over the Kushiro Bog,



Proceedings of the Eighth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russian in 1999, Inoue and Takenaka eds., 2000.3 pp300-305

- ② 矢澤健司、田丸 卓、田頭 剛、坂井紀穂、田中 太、橋口浩之：MU レーダと航空機による風観測の比較、第3回MU レーダシンポジウムプロシーディング、2000.3
- ③ 矢澤健司、田丸 卓、橋口浩之：MU レーダと航空機による風観測の比較、第11回大気化学シンポジウムプロシーディング、2001.3

(2) 口頭発表

- ① K. Yazawa, T. Tamaru, T. Tagashira, T. Sakai, G. Inoue, S. Maksyutov and T. Machida.: Greenhouse effect gas measurement of the Kushiro bog by the aircraft, The 8th Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1999, 2000.1
- ② K. Yazawa, T. Tamaru, G. Inoue, S. Maksyutov : Eddy-correlation technique applied to CO<sub>2</sub> and water vapor flux measurements over Hokkaido in July 1996, International Workshop for Advanced Flux Network and Flux Evaluation (Kick off meeting of the Asia Flux Network), Hokkaido University, Sapporo, 2000.9
- ③ 矢澤健司：航空機による風観測の紹介、第3回「成層圏プラットフォーム気象環境検討委員会」、2000.12
- ④ 矢澤健司、田丸 卓：航空機による風の観測、第11回大気化学シンポジウム、2001.1.11
- ⑤ K. Yazawa, T. Tamaru, G. Inoue : Flux Measurements of Greenhouse Gases by the Aircraft over Tomakomai Experimental Forest, Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 2000, 2001.1.23
- ⑥ K. Yazawa, T. Tamaru, H. Hashiguchi: Development of Ultrasonic Anemometer for Environmental Observation by Aircraft, First AIAA Aircraft Technology, Integration, and Operations Forum, 18 Oct 2001 Los Angeles, California

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞など

なし

(5) 一般への公表・報告

- ① 矢澤：航空機搭載用超音波風速計の開発と環境観測試験への応用、なる4月号