

第Ⅱ部 実験に用いた観測機器

4. 観測器材の概要

4.1 CWS の仕様全般

今回使用した CWS の機器仕様を、表 4-1 に示す。風向・風速の測定方式は、いずれも超音波式が採用されているが、超音波風速計のプロープの取り付け方については、それぞれ特徴が見受けられる。計測範囲は、どの器種も 0～50 m/s は確保されている。計測精度は、±0.5m/s または ± 5 % 以下に抑えられている。

温度の測定では、サーミスタ、白金抵抗、静電容量をそれぞれ用いている。全ての器種が日射、放射の影響を受けないよう通風筒の中に納められており、4 器種が自然通風式を採用し、1 器種が強制通風式である。測定範囲は、器種によりややばらつきはあるが - 35 °C ～ + 50 °C をカバーしているため、極寒地を除けば、国内における野外観測では十分な範囲といえる。精度については、± 0.1 ～ ± 1 °C とセンサーの違いにより異なるため、観測用途により使い分けが必要である。

湿度の測定では、センサーはいずれも静電容量式であり、測定範囲は、1 器種を除き 0～100 %、精度は±5 %以下であり、実用上問題ないと思われる。

気圧の測定では、シリコンピエゾ抵抗式と静電容量式の 2 種類がある。測定範囲は、800～1100 hPa をカバーしており実用上十分である。精度は±1.5 hPa 以下となっている。

雨量は 2 器種のみセンサーを実装している。計測方式は、ドップラーレーダ方式とピエゾ電気式感雨計方式を用いたもので、計測原理は異なる。測定範囲は時間雨量換算で 0～200 mm である。精度は、ドップラーレーダ方式が 0.3 mm～5.0 mm、ピエゾ電気式感雨計方式が 5%である。

その他の機能として、一部の CWS では、マグネットコンパスを実装し、方位を計測できる器種がある。さらに、1 器種は、GPS センサーを搭載していたが、今回の実験では、評価対象外とした。

CWS からの出力信号は、どの器種もシリアル伝送のデジタル出力であり、RS-232C、RS-422、RS-485、SDI-12などをサポートしている。

電源は、いずれも、直流電源対応であり、12 VDC あるいは 24 VDC などを用意すれば良い。使用環境条件を見ると、極寒地を除けば日本での野外観測においては、十分な範囲を保証している。

サイズ、重量については、いずれも円筒形の筐体であり、直径 100～150 mm、高さは 130～270 mm、重量は 300g～1.5kg であり、いずれもコンパクトにまとめられている。

以下に、それぞれの CWS について詳細仕様をまとめるが、CWS の並びは型名の ABC および数字順で記述する。

表 4-1 CWS 機器仕様一覧

型名	All-In-One CWS	MetPak II	WS-600	WXT520	150WX
メーカー名	未公表 (米国製)	Gill	Lufft	Vaisala	Airmar
風速 測定方式	超音波式 (2成分反射式)	超音波式	超音波式	超音波式	超音波式 (90° 交叉 2対向反射式)
測定範囲	0~50m/s	0~60m/s	0~60m/s	0~60m/s	0~70 m/s
精度	±0.5m/s or 5% of reading	±2% @12m/s	±0.3 m/s or ±3% (0~35 m/s) ±5% (>35m/s)	0~35m/s: ±0.3 m/s or 5% 35~60m/s: ±5%	0~5m/s: ±0.5 m/s or 10% 5~70m/s: ±1 m/s or ±5%
分解能	0.1m/s	0.01m/s	0.1m/s	0.1m/s	0.1m/s
風向 測定方式	同上	同上	同上	同上	同上
測定範囲	0~360°	0~359°	0~359.9°	0~360°	0~360°
精度	5° (風速2.2m/s以上にて)	±3° @12m/s	3° 以下 RMSE from 1.0 m/s	±3°	5° in 2~5 m/s 2° in > 5m/s
分解能	1.0°	1.0°	0.1°	1°	0.1°
温度 測定方式	自然通風型	自然通風型	強制通風型	自然通風型	自然通風型
	3素子サーミスタ	白金抵抗 Pt 100 Ω	NTCサーミスタ	静電容量式セラミックセンサ	補償型サーミスタ
測定範囲	±50°C	-35°C~+70°C	-50°C~+60°C	-52°C~+60°C	-40°C~55°C
精度	±0.2°C	±0.1°C	±0.2°C	±0.3°C	±1°C
分解能	0.1°C	0.1°C	0.1°C	0.1°C	0.1°C
湿度 測定方式	静電容量式		静電容量式	静電容量式薄膜ポリマーセンサ	静電容量式
測定範囲	0~100%	0~100%	0~100%	0~100%	10%~95%
精度	±3%	±0.8% @23°C	±2%	±3% (0~90%) ±5% (90~100%)	±4%
分解能	1.0%	0.10%	0.10%	0.10%	0.1%
気圧 測定方式	ピエゾ抵抗式		静電容量式	静電容量式シリコンセンサ	シリコン・ピエゾ抵抗素子
測定範囲	600~1100hPa	600~1100hPa	300~1200hPa	600~1100hPa	800~1100hPa
精度	±0.35hPa	±0.5hPa	±1.5hPa	±0.5hPa (0~30°C)	±1hPa
分解能	0.1hPa	0.1hPa	0.1hPa	0.1hPa	0.1hPa
雨量 測定方式			24GHzドップラーレーダー	ピエゾ電気式感雨計	
測定範囲			0~200mm/h	0~200mm/h	
精度			0.3mm~5.0mm	5%	
分解能			0.01mm	0.01mm	
方位 測定方式	フラックスゲート式				2 axis solid-state compass with 3 axis accelerometer
精度	±2°				±1°
分解能	1°				
GPS	—	—	—	—	あり
出力 信号出力	RS-232C/RS-485/SDI-12	RS-232C/RS-485/SDI-12	SDI-12, RS485	SDI-12, RS-232, RS-485, RS-422	RS232, RS422, CAN
電源 電圧	8~36VDC	4.5~30VDC	24VDC±10%	5~32VDC	9~40VDC
消費電力	8~36VDC@50mA	16mA at 12v	175mA/4.2VA	12VDCにて3mA	70mA @12V
使用環境条件					
温度	-50°C~+70°C	-35°C~+70°C	-50°C~+60°C	-52°C~ 60°C	-40°C~ 55°C
湿度	0~100%	0~100%	0~100%	0~100%	n/a
サイズ 大きさ	105mm φ x 270mm	142mm φ x 274mm	150mm φ x 343mm	115mm φ x 238mm	72mm φ x 131mm
重量	1.5kg	1.1kg	1.5kg	650g	300g

4.1.1 All-In-One CWS

●概要

表 4-2 に All-In-One の機器仕様を示す。All-In-One は風向、風速、温度、相対湿度、気圧を測定要素としてもっている。水平 2 成分反射式の超音波風向風速計、3 素子サーミスタ温度センサー、容量式相対湿度センサー、ピエゾ抵抗式気圧センサー、風向を自動検知するためのフラックスゲートコンパスを内蔵している。小型で低消費電力のため大気環境の遠隔監視を行うネットワークを構築するのに適している。可搬性が良く取り扱いが簡単なので、一人で観測マストや三脚や車両に取り付けることができる。データ出力はシリアルデジタル出力で、大部分のデータ ロギング システムにインターフェース可能である。



●測定原理と特徴

風速は 2 対のセンサー間の風速が超音波の伝播時間に影響を与える、すなわち、風向順方向の音波伝播時間は短くなり、逆方向は長くなることを利用する。

温度は高精度の 3 素子サーミスタ温度センサーを用いており、AIO から回路素子を経ずにセンサーに直結されている。センサーの補正はソフトウェアで行っている。

相対湿度は容量式センサーである。直線性のある電圧出力をもつので、AIO のマイクロプロセッサに直接入力される。相対湿度素子は濡れ、埃、汚れ、油分やその他の環境化学物質に優れた耐性をもっている。汚れが酷い場合にはセンサーで水蒸気が平衡に達する時間が長くなるのでセンサーの応答時間が遅くなる。

気圧センサーはナノテクノロジーを用いた直線性と繰り返し精度のある低ヒステリシスの安定したセンサーである。このピエゾ抵抗式気圧センサーは小型回路基板上に実装されており、マイクロコントローラーがセンサーの動作とデータインターフェースを制御している。マイクロコントローラーは毎秒 1 回、気圧と周囲温度を取り込んで、気圧の生値に対して温度補正を行う。

フラックスゲートコンパスは 1 対の磁気誘導センサーが地球磁場を検出するために磁場強度の変化をインダクタンス検出している。All-In-One のマイクロプロセッサはこの内蔵コンパス出力で風向の補正を行っている。

●使用方法と保守

風向は内蔵のフラックスゲートコンパスにより自動的に磁北からの風向に補正される。磁北の偏角の初期値は“0°”で与えられているので、使用に際しては測定地点の磁北の偏角をコマンド入力して変更する。この入力値は不揮発性メモリに保存される。これにより真北に対する風向出力が可能になる。

保守に関しては可動部がないので実装品について定期点検の必要はないが、6～12 か月毎にデータチェックをすることを推奨する。方法はメーカーが用意する“ゼロ風速試験治具”、“通風式温湿度計”、“携帯式デジタル気圧計”で行うことができる。温湿度センサーは交換可能である。

図 4-1 All-In-One CWS
外観

表 4-2 機器仕様

風 速	測 定 方 式	超音波式 (2 成分反射式)	方 位	測 定 方 式	フラックスゲート式
	測 定 範 囲	0～50 m/s		精 度	±2°
	精 度	±0.5 m/s or 5 % of reading		分 解 能	1°
	分 解 能	0.1 m/s		出 力	応答速度 1 Hz
風 向	測 定 範 囲	0～360°	電 源	出力信号	RS-232C/RS-485/ SDI-12
	精 度	5° (風速 2.2m/s 以上にて)		電 圧	8～36 VDC
	分 解 能	1.0°		消費電力	8～36 VDC@50 mA
温 度	測 定 方 式	3 素子サーミスタ式	使用環境条件	温 度	-50℃～+70℃
	測 定 範 囲	±50℃		湿 度	0～100 %
	精 度	±0.2℃ (素子精度)	外 形		φ 105 mm×H270 mm
	分 解 能	0.1℃	重 量		1.5 kg
湿 度	測 定 方 式	静電容量式			
	測 定 範 囲	0～100 %			
	精 度	±3 %			
	分 解 能	1.0 %			
気 圧	測 定 方 式	ピエゾ抵抗式			
	測 定 範 囲	600～1100 hPa			
	精 度	±0.35hPa (25℃定温度にて)			
	分 解 能	0.1 hPa			

4.1.2 MetPak II

●概要

表 4-3 に MetPak II の機器仕様を示す。MetPak II は、小型軽量の複数の気象センサーを備えた CWS といえる。その基礎となったのは、長年の実績のある PGWS-100 型の 2 軸型超音波風速計の技術を最大限に活用し、その他一般的な気象観測・工業用として実績のあるセンサーとの組合せで、コンパクトな気象ステーションの開発が可能となった。

観測要素としては、風向・風速、気温、湿度、気圧の測定が可能となっている。また、MetPak II には、MetPak II Remote という、WMO の要求 (Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, issued by the world Meteorological Organization) に対応し、風向風速センサー部とその他センサー部を 10 m 分離出来るタイプ、および雨量計、水位系、日射計、土壌温度計などのセンサーを最大 4 種類追加可能な MetPaK Pro というタイプも存在する。信号出力には、RS232/RS422/RS485 に加え、SDI-12 も選択できる。

筐体は、超音波風向風速計のセンサー部分と、温度、湿度計が納められた自然通風式の通風筒および気圧計および電子回路が収まるハブボックスで構成されている。



図 4-2 MetPak II の外観

表 4-3 機器仕様

風 速	測定方式	超音波式 (2 成分反射式)	気 圧	測定方式	
	測定範囲	0～60 m/s		測定範囲	600～1100 hPa
	精 度	±2 % (12 m/s の時)		精 度	±0.5 hPa
	分 解 能	0.01 m/s		分 解 能	0.1 hPa
風 向	測定範囲	0～359°	出 力	応答速度	0.25、0.5、1 Hz
	精 度	±2 % (12 m/s の時)		出力信号	RS-232C/RS-422/ RS-485/SDI-12
	分 解 能	±3°	電 源	電 圧	4.5～30 VDC
温 度	測定方式	Pt100 1/3 Class B	使用環 境条件	温 度	-40℃～+80℃
	測定範囲	-35℃～+70℃		湿 度	0～100 %
	精 度	±0.1℃	外 形		φ 142 mm×H274 mm
	分 解 能	0.1℃	重 量		1.1 kg
湿 度	測定方式	静電容量式			
	測定範囲	0～100 %			
	精 度	±0.8 % (23℃におい て)			
	分 解 能	0.1 %			
露 点 温 度	精 度	±0.15℃ (23℃の外気 温度、20℃の露点温度 にて)			
	分 解 能	0.1℃			

●測定原理と特徴

MetPak II の風向風速の測定では、WindSonic と呼ぶ風速および風向センサーを使用する。WindSonic は、一般的な超音波風向風速計の測定原理と同様に、北向きに設置したセンサーから南向きに設置したセンサーまでの音の伝搬時間および西向きに設置したセンサーから東向きに設置したセ

センサーまでの音の伝搬時間から、風速、および風向を計算する。尚、この計算は温度には依存しない。

MetPak II の気温、湿度の測定では、工業用で実績のある Rotronic HygroClip module を使用し、データの補正は本体の集積回路に組み込まれている。気温、湿度の他、露点温度を計算し、出力することが可能である。

MetPak II の気圧の測定では、センサー本体はハブボックス取り付けられている。センサーは外気圧を取り込めるよう Gore-Tex フィルタが使われ密閉され、気圧センサーを風や雨の影響から守っている。

●使用方法と保守

WindSonic センサーが汚れた場合、湿った布を用いてやさしく汚れを取り除くことが重要である。WindSonic センサーは、可動部がないため、定期的に保守を行う必要はない。万が一、ユーザ側でセキュリティシールを剥がしたりすると、保障の対象外となるので注意が必要である。

HygroClip と呼ばれる気温、湿度センサーは、化学プラントやその他の極限の環境で使用される場合は、6 か月に 1 回のフィルタ交換を推奨する。

気圧センサーは、メンテナンスフリーであるが、ハブボックスの中心部のねじを緩める事で、取り外す事ができる。

4.1.3 WS-600

●概要

表 4-4 に WS-600 の機器仕様を示す。WS-600 は、Lufft 社の総合気象機器を使用している世界各国ユーザやディーラーからの強い要望で、あらゆる環境で使用可能な信頼のできるメンテナンスフリーの CWS 機器の開発を行うべく、機器設置からデータ収集まで利用者の立場に立ったプロジェクトとして ISO9001 の品質保証基準に従った「オールインワン」タイプの総合気象センサーの高品質標準器として開発された。

観測できる要素は、気温、湿度、降水強度、雨・雪判別、気圧、風向、風速である。相対湿度は静電容量式センサーによって測定される。また、気温の測定には NTC センサーが使われている。降水量の測定では、24 GHz 帯のドップラーレーダが用いられ、降水強度の測定や雨雪判別が可能である。雨雪判別には、雨粒と雪粒の落下速度の違いから判別を行う。風向風速の測定には、超音波センサーを用いている。ある特定のサンプリング間隔に従い、現在の観測値が要求された時、サンプリング間隔の最後の値が現在値としてデータ送信されるようになっている。それぞれの測定値は以後の最大値、最小値、そして平均値を算出する際に必要となるため、循環型の記憶装置に蓄積されるようになっている。また、風の計測においては測定値を、ベクトルを使って表現できるようにもなっている。まずベクトルの平均値が計算され、その結果としてベクトルの大きさ（風速）と方向（風向）が算出されるようになっている。



図 4-3 WS-600 の外観

WS シリーズには、WS200、WS300、WS301、WS400、WS500、WS501 そして WS600 と観測要素の異なるラインナップが用意されており、観測目的に合わせて最適な器種を選択することができる。今回使用した WS600 は、シリーズで最上位器種であり、最も多くのセンサーが装備されているタイプであるが、日射センサー（WS501、WS301 に装備）は未実装である。また、気温、湿度の測定では強制通風方式を採用していることも特徴の一つである。今後の新モデルには、ドップラーレーダの代わりに転倒マス式雨量計を搭載した機種も発売予定である。

表 4-4 機器仕様

風 速	測定方式	超音波センサー	気 圧	測定方式	MEMS センサー
	測定範囲	0～60 m/s		測定範囲	300～1200 hPa
	精 度	±0.3 m/s or ±3% (0～35m/s) ±5% (35～m/s)		精 度	±1.5 hPa
	分 解 能	0.1 m/s		分 解 能	0.1 hPa
	サンプリング間隔	10 秒		サンプリング間隔	1 分
風 向	測定範囲	0～359.9°	降水量	測定方式	24 GHz 帯 ドップラーレーダ
	精 度	±3 %		測定範囲	0.3～5.0 mm
	分 解 能	±0.1°		分 解 能	0.01 mm
	サンプリング間隔	10 秒	出 力	出力信号	RS-485/SDI-12
温 度	測定方式	NTC サーミスタ	電 源	電 圧	24 VDC±10 %
	測定範囲	-30～+70 °C		消費電力	175mA/4.2VA（センサー動作時）
	精 度	±0.2 °C	使用環境条件	温 度	-50 °C～+60 °C
	分 解 能	0.1°C (-20～+50°C)		湿 度	0～100 %
	サンプリング間隔	1 分	外 形		φ 150 mm×H343 mm
湿 度	測定方式	静電容量センサー	重 量		1.5 kg
	測定範囲	0～100 %			
	精 度	±2 %			
	分 解 能	0.1 %			
	サンプリング間隔	1 分			
露 点 温 度	測定範囲	-30～+70 °C			
	精 度	±0.7 °C（計算値）			
	分 解 能	0.1 °C (-20～+50°C)			

●使用方法と保守

WS-600 は原則としてメンテナンスフリーの製品である。しかしながら、汚れなどが付着していないかの外観検査、付属のソフトウェアによるセンサーチェック、強制通風ファンの動作確認を定期的に行う事を推奨する。

さらに、湿度センサーについては、メーカーによる毎年の校正チェックを推奨する。もしも湿度センサーが故障した場合は、現場での取り外しや交換はできないため、メーカー修理が必要となる。

4.1.4 WXT520

●概要

表 4-5 に WXT520 の機器仕様を示す。ヴァイサラのウェザートランスミッターWXT520 は、軽量、且つコンパクトなパッケージで、風向、風速、降水、気圧、温度、湿度という 6 種類の要素を観測できるようにした一体型気象センサーであり、CWS の代表格に挙げることができる。

雨量センサーには、ピエゾ素子により雨滴の落下により生じる衝撃音から間接的に計測する RAINCAP というユニークなセンサーが採用されている。

同社によると、WXT シリーズ一体型総合センサーの開発にともない、機械的な可動部など、頻繁な保守作業の問題や弊害を可能な限り少なくすることを条件としたため、このピエゾ素子による RAINCAP 降水量センサーの開発につながったということである。



図 4-4 WXT520 の外観

雨粒の落下衝撃によって生じる信号は、降水量に比例することは古くから知られており、その原理は 1964 年にロシア・ノボシビルスクの Mikhaylovskaya によって開発され、観測技術の理論が確立されている。

それ以降、わが国の気象庁なども含む数カ国で研究開発が進められたが、圧電素子を用いたこの種のセンサーは、雨粒の運動エネルギーを測定することが中心となり、転倒ます型雨量計に代わるような、降水量を正確に計測するものとして実用に至ることはなかった。

ヴァイサラでは、その後、各国で発表され、発展した圧電素子による降水量計測の研究を踏まえ、また、その後、J.Forster や G.Gust、そして S.Stolte らによって、2004 年に、海上ブイでの気象観測への応用として発表された「ピエゾ素子による雨量観測」の技術⁵⁾に注目し、それをベースとして改良を加えて WXT シリーズの実用化を達成したとされている。

そのヴァイサラの RAINCAP では、独自に開発した信号処理方式により、ピエゾ素子で得られた信号を正確な降水量へ換算する変換技術確立しただけでなく、源信号から雨の種類や特徴（性質）、あられ、砂塵などを識別し、それらの影響による測定誤差を小さくする技術を組み込んだということである。

その他、センサー天頂部に 3 素子の超音波発振子を相互が 120 度になるよう、正三角状に配置し、水平風速、風向を測定している。これについても、鳥やゴミの影響による測定値への異常を検出出来る機構が組み込まれている。

気圧、温度、湿度を測定するための PTU モジュールもこの一体型 WXT シリーズのセンサー用に開発された。

WXT520 に供給する電源は、5～32 VDC で、しかも非常に小さな電力で駆動可能なように設計されており、商用電源のない観測点など、ソーラ パネルなどによるセンサーの駆動や観測システムの構築に有利な特長を有している。

データロガーと接続するための通信プロトコルは、一定周期で自動的にデータを出力するモードと、データロガーからの要求に対してセンサーが応答するポーリング方式のデータ出力のいずれにも対応している。また、データフォーマットの構成は、ASCII 通信方式、NMEA0138 のいずれかを選択できる。それらはいずれもシリアルデータであり、そのシリアル信号インターフェースとしては、RS-232C、RS-485、RS-422、SDI-12 の中から選択可能となっている。

センサーのハウジングは、IP65/IP66 に適合している。また、寒冷地での使用を可能にするため、風と降水のセンサー部の凍結を防止するための加熱機構（ヒータ）をオプションで付加できる。

●測定原理と特徴

ヴァイサラ WXT520 の風向風速の測定では、前述のように水平面の 3 点に等間隔に配置された 3 つの超音波トランスデューサーによる WINDCAP というセンサーが使用されている。

その正三角形に配置された超音波素子からそれぞれ対向に超音波を発し、それぞれ双方向の到達時間を測定している。それらの個々の到達時間は、その 3 本のセンサーの間を通過する風の速度によって影響を受ける。例えば、無風の場合はすべての双方向の到達時間は同じになり、風があると、風下側の到達時間が短く、風上側では到達時間が長くなる。

そうして得られた 3 組×双方向＝6 個の超音波到達時間データのバラツキから水平面の風向風速を算出している。実際には 3 組のうちの 2 組のデータで水平風が計算できるが、WXT520 では 3 組とも計測し、その中から最適の 2 組の経路を抽出して風向風速の計算に利用している。風向は、風速が 0.05 m/s 以上ある場合にのみ出力され、それ以下では静穏 Calm としている。

気圧、温度、湿度の測定には、静電容量式の一体化された PTU モジュールが使われており、簡単に交換できるようになっている。PTU モジュールでは、温度測定には静電容量式のセラミックセンサー（THERMOCAP）、湿度測定には静電容量式薄膜ポリマーセンサー（HUMICAP）、気圧測定には、静電容量式シリコンセンサー（BAROCAP）が使われている。RC 発振器と 2 個の標準コンデンサを用いて各センサーの静電容量の変化を連続的に測定し、それぞれの値が求められ、気圧および湿度は、温度の実測値で補正される。

WXT520 の降水測定には、前述のように RAINCAP というピエゾ圧電センサーが用いられている。センサー上部のステンレスカバーの裏面に取り付けられたピエゾ素子により、雨滴の衝撃を検知し、その信号から降水を推定するものである。雨滴の落下から生じる衝撃信号は雨滴の体積に比例するため、その信号を直接降雨量に変換することが可能となる。

雨以外の落下物による信号を識別するため、特別なノイズフィルタが組み込まれている。また、水滴と雹の落下を区別できるため、それぞれの場合の降水量が測定できる。いずれの場合もデータとしては、降雨量、降雨強度、降雨時間が出力される。

表 4-5 機器仕様

風 速	測定方式	超音波センサー	降水量	測定方式	リセットからの積算降雨量
	測定範囲	0～60 m/s		精 度	5 %
	精 度	0～35m/s ±0.3m/s または ±3%, 35m/s ～60m/s ±5%		分解能	0.01 mm
	分解能	0.1 m/s、0.1 km/h	降雨時間	測定方式	雨滴が検知された時間を10秒ごとに測定
	応答時間	0.25 秒		分解能	10 秒
風 向	測定範囲	0～360 °	降雨強度	測定方式	10 秒ステップにおける 1 分間移動平均
	精 度	±3 °		測定範囲	0～200 mm/h
	分解能	1 °		分解能	0.1 mm/h
	応答時間	0.25 秒	出力	出力信号	RS-232C/RS-485/ SDI-12
温 度	測定方式	静電容量式	電 源	電 圧	5～32 VDC
	測定範囲	-52～+60 °C (-60～+140°F)		消費電力	12VDC において 3 mA
	精 度	±0.3°C (+20°C における)	使用環境条件	温 度	-52～+60 °C
	分解能	0.1 °C		湿 度	0～100 %
湿 度	測定方式	静電容量	外形		φ 115 mm×H 238 mm
	測定範囲	0～100%	重量		650 g
	精 度	± 3% (0～90%) , ±5% (90～100%)			
	分解能	0.1%			
気 圧	測定範囲	600～1100 hPa			
	精 度	±0.5hPa (0～+30°C において) ±1 hPa (-52～+60°C において)			
	分解能	0.1 hPa			

●使用方法と保守

WXT520 の設置場所の選定は、一般の気象センサーと同様である。すなわち、センサーの設置場所近傍に樹木や建物がある場合は、その影響を避けるため、その高さの 10 倍以上の距離を確保して設置するのが望ましい。

またセンサーのマストから半径 150 m 以上の範囲が開放地となっている場所を選定すべきである。

通常は垂直ポール頂部に WXT520 を取り付けますが、WXT520 にはコンパスが内蔵されていないため、それを固定する向きは、トランスミッタに刻印された矢印を真北に合わせる必要がある。方位に偏角が生じた場合は、その補正值を設定し、風向の補正をすることができる。補正值を設定した場合は、データ出力から補正した風向の結果が出力される。

CWS の取り付けが終われば、データロガーへの信号ケーブルを接続し、電源を投入する。トランスミッタ内部の初期化が終了すれば、逐次データが出力、またはリクエストコマンドに応答される。

WXT520 は、基本的にメンテナンスフリーであるが、最良の測定状態を保つために、降水センサーなどに汚れが付着した場合は清掃を行ない、降水センサーから落ち葉やその他のごみを取り除き、やわらかい布に中性洗剤で湿らせて筐体を拭く。

また、3 本の超音波素子に異物の付着がないよう同様の方法で清掃する。また PTU センサー部のラジエーションシールド部に蜘蛛の巣などの異物がある場合は除去する。

4.1.5 150WX

●概要

表 4-6 に 150WX の機器仕様を示す。Airmar 社が一体型複合気象センサーを開発し、発表したのは業界の中でも早い段階であった。

同社は元来、超音波振動子の専門メーカーであり、船舶関係や軍事用途向けの各種超音波素子の開発と供給が中心的な業務と云われている。

世界的に著名な科学者が同社の技術部門をリードしており、魚群探知機用や海洋調査用、あるいは液体の備蓄タンク用などの高出力超音波振動子のメーカーとしても名高い。同社が保有する最先端の研究開発用設備、実験設備はその製品の品質や性能を裏付けている。

同社は海洋深度計、速度計、温度計などの関係で多くの特許を保有しており、そうした独自技術から海洋関係における技術革新をリードし、各種の技術標準の制定にも貢献している。海洋関係の市場でエポックメイキングをもたらしたと言われる TRIDUCER と呼ばれる複合センサーは、同社の代表的な商標製品である。また、GPS や海洋関係の機材などでよく用いられる NMEA と呼ばれる通信プロトコルの制定においても同社は業界をリードする役割を果たしている。

同社はまた、そうした海洋向け技術を応用して、大気中で利用する気象センサーの開発を手がけ、工業向けの一体型複合気象センサーを発表し、WeatherStation という商標で関係の業界に OEM 提供を行っている。同社の本拠地はアメリカ マサチューセッツ州である。

今回の評価実験に使用した 150WX センサーは、同社では第二世代となる一体型複合気象センサーであり、従前の PB シリーズ、または LB シリーズから性能改善が図られたものである。

但し、今回の実験で使用したセンサーは、同製品が正式発売になる前の試作段階のものであり、実機の製品スペックには、現在の正式な販売製品となったものとは差異があり、厳密には性能が異なる。したがって、この実験結果を評価する場合、その点に注意が必要である。



図 4-5 150WX の外観

150WX は、移動体（車両や船舶）への搭載を想定して、非常にコンパクトで堅牢に設計されたセンサーである。この 150WX は 2012 年 5 月に発売された（本評価実験に使用したものは、2010 年夏段階の同器種試作品である）。

超音波風向風速計、気圧計、温度計、湿度計が一体化されており、GPS 受信機と 2 軸の磁気方位計、そして 3 軸の加速度計が内蔵されている。

測定結果の出力としては、上記各計測要素のほか、露点温度や体感温度などの演算結果も出力されるようになっている。

150WX の大きな特長は、内蔵 GPS 受信機により、常に正確な観測時刻を取得でき、それを標準時刻としてデータ収録が可能なことである。また観測点の緯度経度情報についても自動取得できるため、位置の管理も容易である。

また、内蔵の二次元磁気方位計（マグネット コンパス）は、風向の測定において、CWS の取り付け方位を意識しなくて済むようにした。すなわち、超音波風向風速計で計測される風向の出力は、方位計によって自動的に補正・変換され、磁北に対する角度として出力される。また、磁北から真正方位への変換は GPS の位置情報にしたがって再補正できる。この特長は、もちろん地上における固定観測でも非常に役立つが、CWS を車両や船舶等移動体に搭載した移動観測で、とりわけ威力を発揮する。また、150 WX は、市販の一体型複合気象センサーの中でも、最も安価に提供されるのも特長である。

この製品のシリーズには風向風速、気温、気圧に限定した 100WX、それに交換可能な相対湿度センサーを追加した 110WX がある。これらのモデルには GPS と二次元方位コンパスは装備せず、150WX の機能を制限したサブセットで、さらなるローコスト化を図った製品と云える。

また、150WX の二次元方位コンパスを高精度な三次元コンパスに置換し、正確なロール・ピッチの計測を可能にした 200WX がある。それは 2012 年の末、または 2013 年の初期に発売予定という。

また、それにさらに雨量観測を追加した製品が 300WX だが、現時点での発売時期は未定である。その雨量センサーには、V 社 WXT520 CWS で使われているセンサーと同様のピエゾ圧電素子が用いられるようであるが、実装形状は異なるようである。300WX の場合、ハウジングが小型であるため、センサー頂部の面積が限られており、雨量を計測する場合の適性については、議論の余地が残ると考えられる。

●測定原理と特長

150WX CWS は、前述にもあるように、非常にコンパクトで堅牢な耐候型ケースに収納された一体型複合気象観測センサーである。固定の観測点だけでなく、車両や船舶への取り付けも想定されている。

風向風速、温度、湿度、気圧のほか、GPS 時刻、位置（緯度・経度）、2 軸の磁気方位、3 軸の加速度を計測する。駆動部がまったくなく、すべて半導体センサーによって構成されている。

150WX から出力される観測結果のデータとしては、以下の要素がある。これらの出力には上記のセンサー出力およびそれから計算または換算されたものが含まれる。

- ① みかけの風速および風向（Apparent wind speed and angle, 相対移動成分換算値）
- ② 真風速および風向（True wind speed and direction, 真北から右回りの角度）
- ③ 真風速（海流基準）（True wind speed relative to water, 海流を基準にした風速）

- ④ 気温 (Air temperature)
- ⑤ みかけの体感温度 (寒冷時) (Apparent wind chill temperature)
- ⑥ 真の体感温度 (寒冷時) (True wind chill temperature)
- ⑦ 気圧 (Barometric pressure)
- ⑧ 相対湿度 (Relative humidity)
- ⑨ 露点温度 (Dew point temperature)
- ⑩ 体感温度 (温暖時) (Heat index temperature)
- ⑪ 磁気方位 (Magnetic compass heading)
- ⑫ 真方位 (Heading relative to true north)
- ⑬ ピッチ・ロール角度 (Angle of pitch and roll)
- ⑭ GPS 時刻 (UTC 時刻)
- ⑮ GPS 位置 (緯度・経度)

150WX における風の測定は、超音波センサーで行われ、従来のプロペラ型などの風向風速計と違って機械的摩耗、塩害、汚れ、鳥の止まりなどによる計測の失敗や誤差要因を回避している。

すべてのセンサーは、製造後に Airmar 社の工場にある風洞設備でキャリブレーションが行われ、個々にセンサーに補償パラメータが設定されて出荷される。

風速については、正確な最大瞬間風速を捕捉できるようにするため、設定可能なフィルタをバイパスさせた出力もモニタ出来るようになっている。

また、150WX は寒冷地での使用において、超音波風センサー部の凍結を防止するための加熱機構（ヒータ）をオプションで付加できる。ヒータはセンサーの天頂部に装備され、その電源は 24VDC、加熱電力は 14W となっている。

なお、このヒータオプションを付加した場合に、気温や湿度などの測定結果にどの程度の影響が出るかは、いささかの懸念を否定できない、その点に関しては別途評価が必要と云えるかも知れない。

この CWS センサーは市販の標準サイズの鉄パイプなどを用いて非常に簡単に取り付けができるため、固定用途や移動体用途への設置を問わず、設置工事費用のローコスト化と、保守の容易さの点で他社製品をしのぐ優位性を確保している。

ケースは IPX6¹の防水性能を有しており、そのまま屋外に設置する。湿度センサーについては経年によって性能が劣化するため、消耗品の扱いになり、現場にて交換可能なようになっており、IPX4 の防水性能である。

150WX センサーの供給電源は、従来タイプの PB または LB シリーズよりも約 50 % の省電力化に成功しており、ソーラ電源などの用途で利用しやすいようになっている。また、電源電圧も 9 V～40 VDC と、より広範な電源の利用が可能となっている。

センサーとデータロガーとの接続は単一のケーブルで行ない、その中に電源とシリアル信号が含まれる。シリアル信号で出力されるデータの形式は、NMEA 0183 (RS232)、NMEA 0183 (RS422)、NMEA 2000 (CAN BUS) から選択可能である。

¹ IP××とは機械・器具等を対象とした、人体に対する接近の保護と、外来固形物や液体の侵入保護構造を等級で表す規格で、我が国の JIS C 0920 に相当する規格

表 4-6 機器仕様

風 速	測定方式	超音波式 (90° 交叉 2 対向反射式)	GPS	位置精度	3m (WAAS / EGNOS, SA off)
	測定範囲	0～70 m/s		計測要素	COG、SOG、位置、GPS 時刻
	精 度	0 - 5m/s: ±0.5 m/s or 10% @0 ～ 55℃/降雨なし 5 - 70 m/s: ±1 m/s or ±5% @0 ～ 55℃/降雨なし		出力周期	10Hz
	分 解 能	0.1 m/s		方位、ピッチ・ロール	方位測定方式 半導体式 2 軸磁気方位計
風 向	測定範囲	0～360°	方位、ピッチ・ロール	ピッチ・ロール	3 軸加速度計
	精 度	5°in 2 - 5 m/s@0℃ ～ 55℃/降雨なし、2° in > 5m/s@0℃ ～ 55℃/降雨なし、8°in >4m/s @降水時		精 度	±1°
	分 解 能	0.1°		出 力	出力周期 毎秒 (1Hz)
	自動方位変換機能	有 (二次元磁気方位計による)		出力信号	RS232, RS422, CAN BUS
温 度	測定方式	補償型サーミスタ	電 源	フォーマット	NMEA0183, NMEA 2000
	測定範囲	-40℃～55℃		電 圧	9～40VDC
	精 度	±1℃ @ >2 m/s WS		消費電力	70mA @12V
	分 解 能	0.1 ℃		環境条件	温 度 -40℃ ～ +55℃
湿 度	測定方式	静電容量式	外 形	湿 度	0～100 %
	測定範囲	10%～95%			φ 72 mm × H90 mm
	精 度	±4%		重 量	約 300g
	分 解 能	0.1%			
気 圧	測定方式	シリコンピエゾ素子			
	測定範囲	800hPa ～ 1100hPa			
	精 度	±1 hPa			
	分 解 能	0.1 hPa			

●使用方法と保守

CWS は、正確な観測結果を得るため、適切な設置場所の選定がきわめて重要である。その事情はすべての CWS に共通している。場所の選定は、配線の都合や外観的な条件よりも計測結果を優先させるべきは論ずるまでもない。実際の設置場所にはそれぞれ固有の条件があるため、周辺にある他の既設機器との最適な距離はそれらの内容や状況次第で判断する必要がある。設置場所については、主に以下の要件に注意して行うようにする。

- ① CWS の設置場所としては、自然環境を正確に計測するため、開放された空間が必要である。
センサーの周辺に気流に影響を与える障害物がある場合は、それらからなるべく離れた位置を選定しなければならない。樹木や建物、煙突、鉄塔などがある場合は特に注意が必要である。
- ② CWS の位置は周辺にあるものよりもっとも高い位置が望ましく、できれば周辺より 5 m 以上高い位置にするのが望ましい。
- ③ 内蔵のマグネット コンパスは人工的な磁力を嫌うため、周辺に磁力を放射するものがある場合は、その影響を避けるため、できるだけ遠ざける必要がある。モーターなどの電気製品、エンジン、バッテリー、発電機、その他電線類など何らかの磁化を発生させる可能性のあるものから遠ざけることが重要である。
- ④ GPS 受信機は GPS 衛星からの電波を受信する。それは非常に高感度が求められるため、衛星からの電波を適切に受信できるよう、十分な天空の開放空間を確保する必要がある。特に高層ビルなどがある場合は要注意である。また、衛星通信や携帯通信などのアンテナも GPS の受信動作に障害を与える恐れがあるため、注意を要する。

150WX センサーには可動部がまったくないため、日常の保守は簡単で最小限の作業で済むのが特長である。しかし、超音波風向風速計の通風部に、蜘蛛の巣がはる可能性があるため、注意深く点検しなければならない。蜘蛛の巣やゴミの付着は計測結果に誤差を生じさせるため、通風部に蜘蛛の巣などの異物がある場合は、それをすみやかに除去する必要がある。

通風部の清掃はアルコールで拭き取るのが効果的である。またケース部は家庭用洗剤を含んだ水で布を湿らせ、拭き取る程度でよい。

参考文献

- 1) メーカー名未公表 : AIO COMPACT WEATHER STATION OPERATION MANUAL
- 2) Gill 社 : Met Pak II Weather Station User Manual
- 3) Lufft 社 : Operating Manual
- 4) ヴァイサラ社 : 取扱説明書 ウェザートランスミッターWXT520
- 5) ヴァイサラ社 : ピエゾ圧電素子による新しい RAINCAP 降水量センサー
- 6) AIRMAR 社 : Owner's Guide & Installation Instructions WeatherStation Instrument rev.06 2011/10/03

5.観測データの収集方法

5.1 評価観測に用いたデータロガーの概要

今回の評価観測に使用したデータロガーは、高性能プロセッサを内蔵したネットワーク対応の自動気象観測用 AWS（Automated Weather Station）データロガーである。この AWS データロガーは、プロペラ型風向風速計、温湿度計、気圧計、雨量計などの一般的な気象観測センサーの接続を標準サポートし、気象庁および WMO（World Meteorological Organization：世界気象機関）の観測指針に適合する信号処理を実行する。また収集データの物理値変換やセンサー特性のリニアライズ処理機能を内蔵している。こうして得られた観測結果から、瞬間値、平均値、最大値とその起時、最小値とその起時、標準偏差などの一次統計処理機能が実装されており、それらの結果がバイナリ形式の表参照制御方式（TCDF：Table Driven Code Forms）と呼ばれる形式に準じた形で出力される。

今回使用した AWS データロガーは、気象センサーの信号を接続するためのフロント エンド ユニット（FEU：Front End Unit）とロガー本体とに分割されて構成されている（図 5-1、5-2 参照）。それらの間は市販の UTP ケーブル（Unshielded Twist Pair cable）1 本で電源供給を含めて簡単に接続できるようになっている。



図 5-1 フロントエンドユニット外観
(145mm×29mm×105mm)

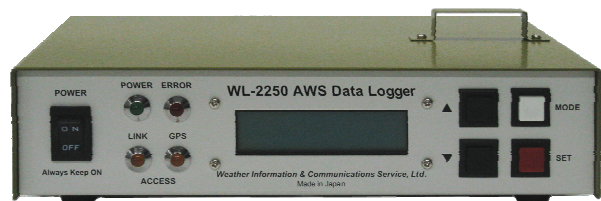


図 5-2 AWS データロガー本体外観
(220mm×58mm×150mm)

AWS データロガーは東洋電子工業（株）と気象情報通信（株）の共同開発製品

今回の評価観測では、図 2-9 に示したように屋外用筐体内に AWS データロガーを収納したため、FEU と AWS データロガーとは同じ場所に設置することになったが、AWS データロガーを室内などの離れた場所に設置する場合は、気象センサーの近傍に FEU を設置してセンサーと接続し、FEU と AWS データロガーとの間は、屋外用 UTP ケーブルを利用して接続することになる。その場合、センサーごとにも多芯ケーブルを延長する必要がなくなり、ノイズによる信号への影響を少なくできるほか、工事の簡素化とともに接続ミスの発生リスクも減らすことができる（図 5-3 参照のこと）。

FEU にはセンサーに必要な電源として、絶縁された 12 VDC の独立電源（最大負荷電流は 100 mA まで）が供給されているため、センサーの駆動に必要な電力は FEU から供給可能になっている。今回の評価観測では、プロペラ式風向風速計用（ロータリーエンコーダ用）および湿度計用電源としてそれを使用した。

また、AWS データロガーは、今回の評価観測のように CWS の出力を直接データロガーに接続してデータ収集することも可能である。ほとんどの CWS は、RS-422 や RS-485 規格のシリアル インターフェースによる接続となる。CWS からのデータを収録するための通信プロトコルやデータフォーマットはセンサーによって異なるため、それぞれのインターフェース規格に対応したソフトウェア モジュールによって、同時並列のデータ収集を実現した。

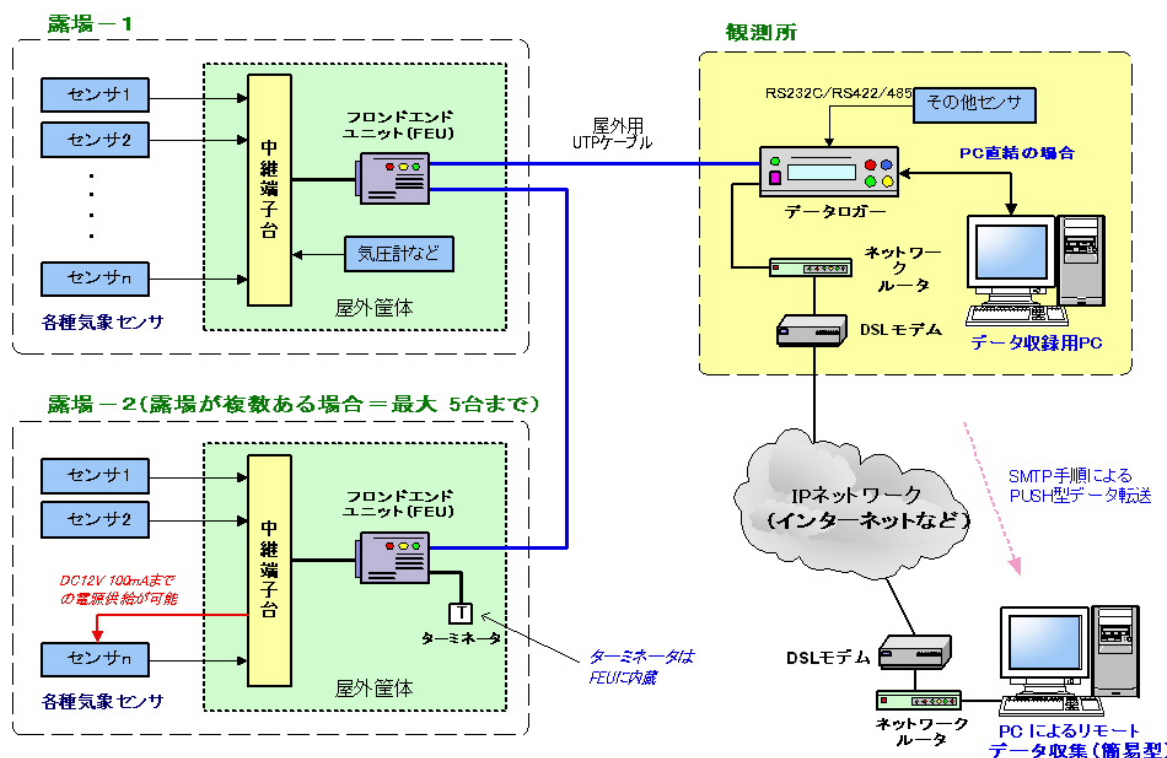


図 5-3 観測地点における機器接続概念図

さらに、気象観測では、各種の観測データを収集する上で時刻管理が重要であるが、AWSデータロガーには、時刻管理機能が内蔵されている。使用環境において、インターネット接続が可能であれば、ネットワーク上のタイムサーバに自動アクセスして時刻の補正を自動実行できるようになっている。もしインターネット接続が無理な場合はオプションの小型GPS受信機を装着し、GPSによる時刻管理を行うことも可能である。

今回の評価観測では、京都大学のネットワーク上のNTPサーバに接続して時計の自動同期を実現した。

観測データをホスト局へ配信する方法は、FTP (File Transfer Protocol)、TCP (Transmission Control Protocol)、SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) などさまざまなプロトコルを選択することができる。今回の評価観測では、通信パスを容易かつ確実に確保する主旨でSMTPプロトコルを採用した。SMTPは通常のEメールの送信でよく用いられる手順である。

5.2 測器信号の取り込みと量子化およびデータ形式について

基準器としたセンサー（プロペラ型風向風速計、温湿度計、転倒ます型雨量計）の信号は、FEU にて信号処理した後に量子化され、FEU からUTPケーブルを通してAWSデータロガーへ伝送される。CWSの場合は、すべてがシリアル信号の形で出力されるため、その出力をAWSデータロガーへ直結し、それぞれのセンサー毎に規定されたプロトコルや出力データフォーマットにしたがってデータが受信され、収録される。今回の評価観測で使用した各種センサーの信号取り込み方法とデータ収録形式を、表5-1にまとめた。

表5-1 評価観測で使用した各種センサーの信号取り込み方法とデータ収録形式一覧

測器名／型番	メーカー名	接続形態	取り込み信号	収録データと形式
プロペラ型風向風速計 (W855-Z1) 温湿度計 (KET-2 HMP155) 雨量計 (R1-502)	小松製作所	FEU接続	風向：ロータリエンコーダ 風速：パルス周波数出力 温度：Pt100Ω 4線式 湿度：0-1VDC 雨量：パルス	10Hzサンプリングの1秒 平均値を収録 CSVファイル形式(カンマ 区切りの文字列)
超音波風向風速計 (DAT-600)	ソニック	FEU接続	風向風速X成分：±1VDC 風向風速Y成分：±1VDC 風向風速W成分：±1VDC 補正用温度：±1VDC	10Hzサンプリングの1秒 平均値を収録 CSVファイル形式(カンマ 区切りの文字列)
All-In-One CWS	未公表（米国 製）	RS-232C	連続出力（垂れ流し方式）	連続出力（垂れ流し式） 1秒ごとの出力値 CSVファイル形式(スパー ス区切りの文字列)
MetPak II	Gill	RS-232C	連続出力（垂れ流し方式）	1秒ごとの出力値 CSVファイル形式(スパー ス区切りの文字列)
WS-600	Lufft	RS-232C	コマンドレスポンス方式	1秒ごとの出力値 CSVファイル形式(スパー ス区切りの文字列)
WXT-520	VAISALA	RS-485	NMEA-0138	1秒ごとの出力値 NMEA-0138フォーマッ ト準拠(カンマ区切りの文 字列)
150WX	Airmar	RS-422 USB変換	NMEA-0138	1秒ごとの出力値 NMEA-0138フォーマッ ト準拠(カンマ区切りの文 字列)

5.3 データ収録とホストコンピュータへのデータ伝送のしくみ

各種センサーで計測され、逐次出力される信号は、AWS データロガーで受信し、都度必要な統計処理を行なった上、内蔵のフラッシュ メモリ（コンパクト フラッシュ・ディスク）に所定のフォーマットで収録する仕組みを利用した。このローカルでの収録は、万一の場合にデータが喪失するのを防止するバックアップが目的である。

ホストコンピュータへのオンライン伝送手段として、AWS データロガーは、国内の気象データファイルの PUSH 型伝送でよく利用されるリネーム方式の FTP 転送方式を有している（FTP 転送中はファイル名の拡張子のあとに “.tmp” が付加され、転送完了時点でその一時拡張子が削除され、復元される方式）。

また、簡易な方式として、E メールの送信で馴染み深い SMTP 手順に準拠したプロトコルも利用可能である。それはデータを本文に文字化して記述し、伝送する方式と添付ファイルとして任意のデータファイルを伝送する方式がある。

さらに、AWS データロガーには FTP サーバの機能も装備されており、外部から FTP でアクセスが可能な場合は、任意の収録データを FTP Get することも可能となっている。

今回の評価観測では、専用のホスト用パソコンを設けることなく、複数のセンサーで 1 秒ごとに収集したデータを本体内のフラッシュメモリへ保存するとともに、60 分単位のデータにまとめてファイル化し、1 時間に 1 回の間隔で参加者のメールアドレス宛てにリアルタイム伝送を行なった。この伝送は、京都大学のネットワーク経由でインターネットを利用したメール配信であり、伝送イメージを図 5-4 に示す。

今回利用したデータ伝送プロトコルは、各種のセキュリティやファイアウォールを容易かつ確実に通過させ、安定した伝送パスを確保する目的から、前記の SMTP プロトコルを用いた。

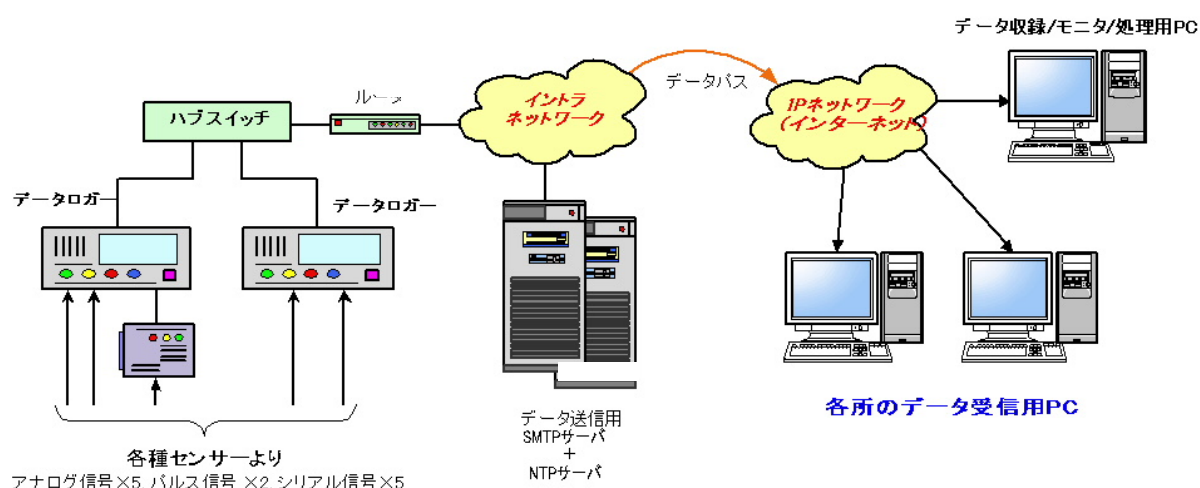


図 5-4 評価・実地観測におけるネットワーク接続とデータ転送の概念図

今回の評価観測では、5 種類の CWS と、既存の気象測器との評価実験に用いた一般気象観測測器を同時に収録した。AWS データロガーへの接続ポート数に制限があることから、今回は 2 台の AWS ロガーを使用し、全データを同時並列に収録できるようにした。

表 5-1 でも示したが、5 種類の CWS はすべてシリアルポートによる接続であった。また、基準器となるプロペラ型風向風速計、温湿度計、転倒ます型雨量計などのセンサーはパルスやアナログ信号による接続である。図 5-5 に各種センサーと AWS データロガーとの接続イメージを示す。

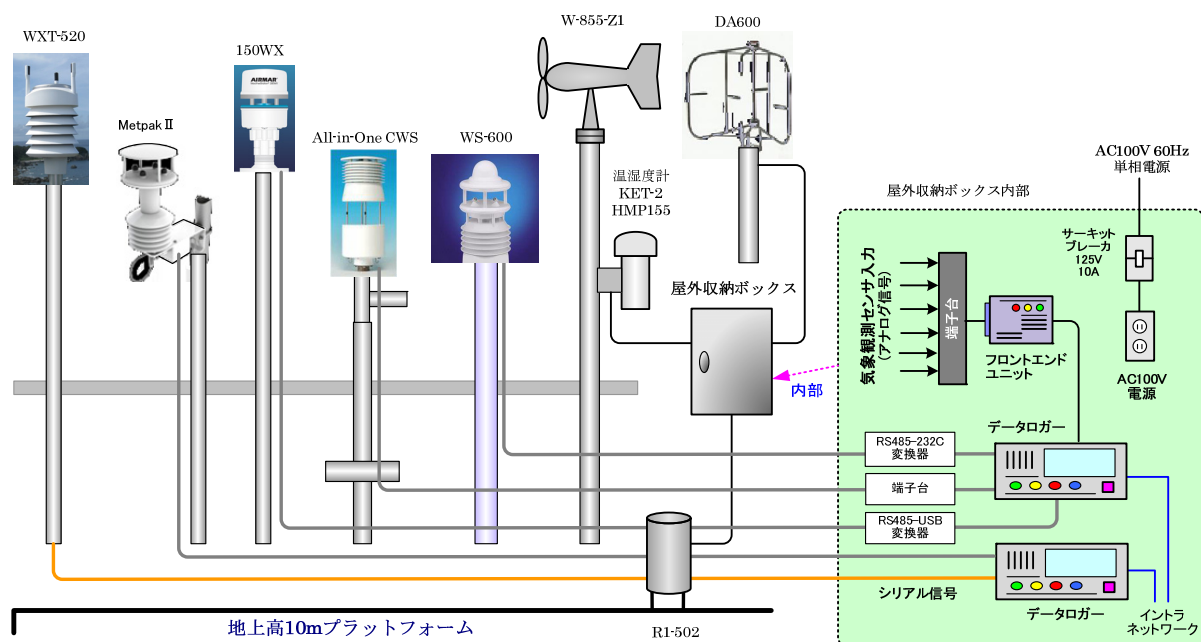


図 5-5 各種センサーと AWS データロガーとの接続イメージ

AWS データロガーは、センサーケーブル長の制約から、観測室プラットホームの屋上にて防水型の屋外収納ボックス内に収容した（図 2-8、図 2-9 参照）。そこから室内のネットワーク HUB まで UTP ケーブルを敷設して接続した。

なお、データロガーの時刻同期については、京都大学のネットワーク上の NTP サーバを利用し、データロガーの時刻同期を周期的に自動実行して 2 台のロガー間で時間差が発生する可能性を排除した。