

ナトリウム温度ライダー用コンテナの製作と設置

川端哲也

教育・研究技術支援室 計測・制御技術系

概要

ナトリウム温度ライダーは、高度 80km～110km の大気温度を測定する装置で、太陽地球環境研究所の第 2 部門 EISCAT (欧州非干渉散乱ライダー) グループを中心に、信州大学工学部と理化学研究所との共同で開発された。2010 年 10 月からノルウェーのオーロラ帯にある観測地で、装置の評価とともに精力的に観測が進められている。ナトリウム温度ライダーでは、野外に 3 つのコンテナを展開し、それぞれ、送信レーザー室、受信望遠鏡室、制御室として使用している。これらのコンテナは、冬期に -25°C まで外気温が下がる環境の中で、温度変化を好まない観測装置を安定的に運用するための断熱処理や上空にレーザーを打ち上げるための天窓など、様々な工夫が施されている。ここでは、コンテナの製作から輸送、設置に至る一連の作業について報告する。

1 観測用コンテナの要件

観測用コンテナに必要な条件を以下に述べる。

- ライダーが設置されるのは、ノルウェーの北緯 70 度にあるオーロラの観測地であり、冬期には積雪量も多く、外気温は -25°C まで下がる。このような過酷な環境の中でも、温度に敏感な観測装置を長期間、安定的に運用できるようにコンテナ内の温度は年間を通してなるべく一定に保つ必要がある。
- 特にレーザーの共振器は温度変化を嫌うため、観測者がコンテナへ出入りすることで、周囲の温度が変化しないように注意し、振動も極力防ぐ。
- 上空へのレーザーの射出と上空からの散乱光の受信は、天候の変化に左右されずに運用ができるように、窓ガラスを通して行う。
- このライダーは空間的に異なる 5 方向の大気温度を同時に計測することを仕様としており、この機能を実現するために鉛直方向と東西南北の斜め方向にレーザーを 5 本同時に打ち上げる天窓が必要である。
- 5 方向のレーザーにあわせて受信機も 5 台準備するため、受信用の天窓も 5 つ以上用意する。
- 受信機は、低高度 (10km 以下) からの強い散乱光を受信しないために、送信レーザーと 8m 以上離して設置する。
- コンテナ内の電源は日本と同じ AC100V とする。

以上の要件から、もともと断熱仕様となっている海上輸送用の冷凍コンテナを 3 台用意し、送信レーザー室、受信望遠鏡室、制御室に改造することになった。また、細かな要件を確実に実現するためにコンテナは日本で製作しノルウェーへ輸送した。この際、コンテナを船で運べるように輸送中は突起物のない構造とする必要もあった。実際のコンテナの設計は、ライダー自体の設計と相互に関係するため、単なるハウジングとしてではなく装置の一部として考える必要があった。また、実際の施工方法、輸送方法、現地での組立手段なども考慮した。大がかりでやり直しがきかない部分でもあり、大きく失敗しないように注意した。

2 観測用コンテナの設計と実際

前述のように観測用コンテナは、送信コンテナ、受信コンテナ、制御コンテナの3台から構成され、図1のように配置することを考えた。送信コンテナには、温度変化を嫌うレーザーが納められることから、隣に設置される制御コンテナに入室してから送信コンテナに移るように設計した。

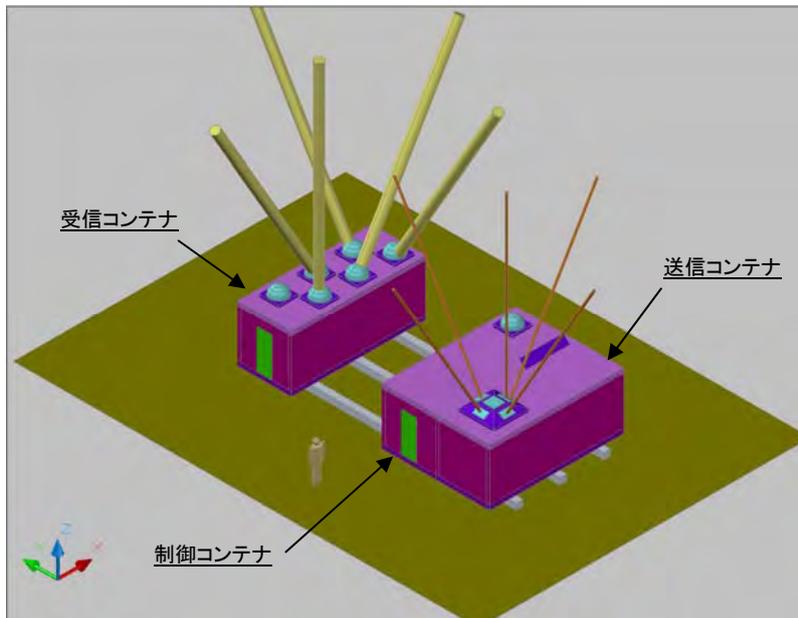


図1 コンテナの鳥瞰図

送信コンテナの天窓から出ている5本の線は、送信レーザー光を示しており、受信コンテナのドーム天窓から出ている円筒は、ドーム天窓の下にある受信機が向いている方向を示している。制御コンテナと受信コンテナの間隔は4mである。

まず、はじめに各コンテナに共通する部分について説明し、次に送信コンテナと受信コンテナの個別仕様について説明する。

2.1 コンテナの共通仕様

(1) 海上輸送用20フィート冷凍コンテナ

海上輸送用のコンテナには、大きく分けてドライコンテナと冷凍コンテナの2種類がある。今回は、断熱が必要なことから20フィートサイズ(H2591×W2438×L6058mm)の冷凍コンテナを採用した。冷凍コンテナは、外壁がアルミの薄板で内壁がステンレスとなっており、その間に厚さ100mmの発泡材が入っている(図4)。冷凍コンテナには一方に観音扉が付いており、その反対側には冷凍機ユニットが付いている(図2、図3)。冷凍機ユニットは使用しないため取り外し、新たに断熱壁と入口を作ることにした(図5)。

(2) 電源

ノルウェーの電圧は、単相230V50Hzが標準とされている。事前に現地で電圧とその変化について調査したところ、24時間の測定では、電圧の平均は226V、変動幅は220V~230Vであった。コンテナ内の電圧を日本にあわせるため、コンテナごとに容量5kVAのダウントランス(対雷トランスST型、サンコーシャ)を設置した(図6)。また、各コンテナには分電盤を用意し、外部から供給される単相230Vをエアコン用(AC230V)とヒーター用(AC230V)、ダウントランス用(AC220V→AC100V)の3つに分岐し、トランスで100Vになった電圧を室内コンセントに供給することにした。

(3) 室内の壁

コンテナ内の壁は、あとから木ネジが打てるようにコンテナ本来のステンレスの内壁と新しく作る壁の間に隙間を作るようお願いした(図7)。

(4) 床

受信コンテナと制御コンテナの床は、厚さ40mmのアピトン合板とした。強度も断熱効果も十分だった。

(5) ケーブルラック

多くの機材をコンテナ内に設置、配線することから、側面の壁の上部に L アンクルを使ってケーブルラックを組んだ。これは、名古屋大学に仮設している時に行った。

(6) プールボックス

コンテナ同士をケーブルでつなぐために、それぞれのコンテナにプールボックスを用意し、ケーブルを室内から室外へ、さらにフレキシブルチューブを配管してコンテナ間を接続した (図 23)。



図 2 冷凍コンテナ (観音扉側)



図 3 冷凍コンテナに内蔵された冷凍機ユニット



図 4 冷凍コンテナの断熱壁 上面が外側



図 5 冷凍ユニットを取り外した部分で作られている壁と入口の骨組



図 6 コンテナ内の分電盤とダウントランス



図 7 施工中のコンテナ内の壁合板を張る前で軽天と電源配線が見える

2.2 送信コンテナの仕様

(1) 光学定盤

送信コンテナには、防振ゴムで除震された光学定盤（L3600×W1200×H800mm、型番 RB-3612、日本防振工業）が納められた（図 8）。光学定盤の上には、レーザー光源（L2400×W1200mm）とレーザーを5つに分岐して上空に打ち上げる光学系（L1200×W1200mm）が展開されることになる。

(2) レーザー用天窓

レーザーを打ち上げる天窓は、光学定盤に展開される5分岐光学系から鉛直方向と天頂角0度～30度の東西南北方向に斜めに打ち出せるように窓の大きさや位置を設計した（図 9、図 10）。天窓のガラス材は、ショット社のテンパックスフロートを採用した。ガラスの厚みは11mmで、両面を光学研磨し、室内側のみ単層の反射防止コートが施されている。天窓ガラスの角度は、レーザーがガラス表面で反射したときに同じ光路を戻ってこないように傾斜を考えた。天窓は1重ガラスとし、結露したときには下に水滴が落ちないように窓の縁の内側に雨樋を付けている。

(3) 床、壁の色、電灯

床は、強度を考慮して4mm厚の鉄板としたが、結果的にはその他のコンテナと同様にアピトン合板で十分であった。逆に床から外の冷気が伝わり足下が寒くなってしまった。レーザー室の壁は黒塗りとし、蛍光灯の他に調光できるハロゲン灯をつけた。

(4) HEPA フィルター

レーザー光源は、ホコリを嫌うため HEPA フィルターを設置した（図 11）。本来はクリーンブースを設けて、フィルターでホコリが除去された空気をブース内に送り込まなければならないが、スペースの問題とブース内の温度が上がってしまうのではないかと懸念から、とりあえずブースを設けずに HEPA フィルターを設置し運転している。



図 8 送信コンテナに納められた光学定盤



図 9 レーザー用天窓（屋外側）



図 10 レーザー用天窓（室内側）

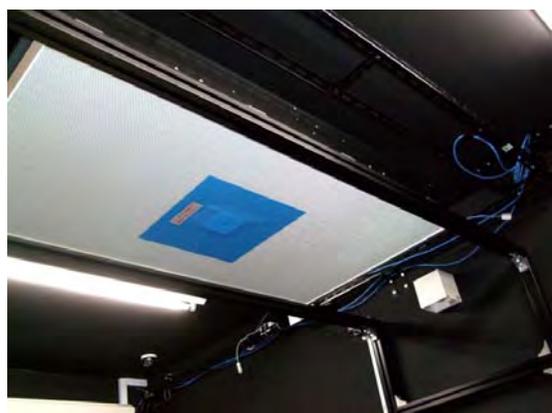


図 11 HEPA フィルターユニット

2.3 受信コンテナの仕様

(1) コンテナ屋根の開口部（6カ所）

ナトリウム温度ライダーでは、同時に5方向の観測を行うため、受信用の天窓は予備を含めて6カ所用意した（図12）。この際、コンテナの天井に□800mmの開口部を6カ所作るため、弱くなった屋根の強度を補強するために下から鉄の角材を組むことになった。また、切り取った開口部の縁は、ステンレスの薄板で丁寧に養生され、その上で天窓を取り付けるためのナットリベッターを打ってもらった（図13）。ナットリベッターの位置は、大学側で準備するドーム天窓と問題なく接合できるように、施工用の穴位置ガイド板を用意して提供した（図14）。

(2) アクリルドーム

受信用の天窓には、当初からレーザー用天窓と同じ平面ガラスを検討していた。しかし、積雪が落ちるように傾斜させたガラス天窓を設計すると、その下に置く受信望遠鏡が向けられる方向に制限がついてしまうと考えて、アクリルドームを使った天窓を採用することにした。アクリルドームが薄ければ望遠鏡で結像される像の広がり、ライダー観測において許容できる量にとどまると判断した。この時は、光学設計ソフトのシミュレーションの結果を見て判断したが、実験的に確認したわけではなかった。結果としては、予想より像の広がりが大きく、受信望遠鏡の視野を広げることで対応した。アクリルドームは、イギリスの Talbot Designs Ltd 社の直径800mm 厚さ5mm フランジ幅25mmの半球形ドームで、アクリルの素材は紫外線に強い PLEXIGLAS GS2458 が使用されている（図15）。



図12 施工中の受信コンテナの屋根

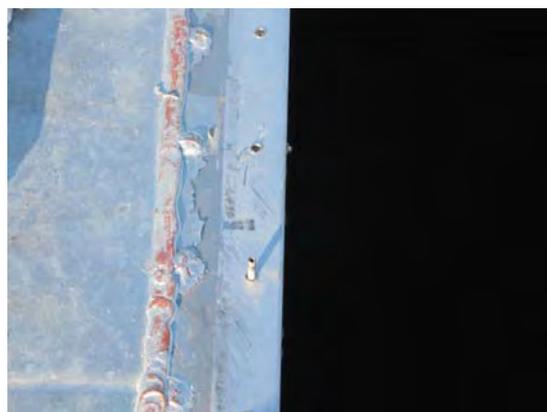


図13 ドーム天窓を取り付ける開口部の縁
ナットリベッターが付けられている



図14 ナットリベッター用の穴位置ガイド板
施工中の開口部に取り付けて、ナットリベッター
の下穴をあける際に使用してもらった



図15 製作したアクリルドーム天窓
アクリルドームの下には、コンテナと接合す
るためステンレス棒を付けた

3 名古屋大学への仮設と輸送

3.1 仮設中の作業

名古屋港にあるコンテナ業者により改造された観測用コンテナ 3 台は、名古屋大学に納品・仮設され（図 16）、約 1 ヶ月間、天窓の仮組やケーブルのラックの取り付け、制御コンテナと送信コンテナ接合部の施工、光学定盤の搬入などが行われた（図 17）。天窓の仮組では、最終施工ではないためシーリング材が使えず、雨漏りに悩まされた。ただし、これらの作業経験は、ノルウェーでの良いリハーサルとなり、作業の段取りや必要な工具を周到に準備することができた。

3.2 梱包と輸送

大学からコンテナを搬出する直前には、仮組したドーム天窓とレーザー天窓を取り外し、フタで開口部をふさいだ上でシーリング材による防水を行った（図 18）。この際、フタを閉めた状態でコンテナの上面から 30mm 以上の突起がないように注意した。ところで、海上輸送では、船が 45 度近く傾く可能性があり、荷物はコンテナ内に強固に固定するのが通例である。ここで問題になったのは、内装を施したコンテナの中に、はたして安全に荷物を固定することができるのか、という点であった。特に光学定盤の固定方法は梱包業者を悩ませた。結局、光学定盤は鉄の床にワイヤーを掛けるフックを溶接して鉄ワイヤーで固定し、さらに定盤の足に穴を開けて L 字鋼材で鉄の床と直接ネジ止めをし、さらに安全のために周りに木枠を付けて側面の壁との隙間を埋めた（図 19）。他のコンテナに詰める荷物は、固定のために床への打ち付けを許可し、3 台のコンテナに荷物を満載して送り出した。また、輸送中に船は赤道近くを航行するため、コンテナ内の湿度は 100% に達する。湿気を嫌う機器類は乾燥剤を入れた上で銀色の包装材でパックされ、その上で木枠梱包された。名古屋港から出発した 3 つのコンテナは、マラッカ海峡とスエズ運河を通り、地中海を抜けてドイツのハンブルグ港へ入った、ハンブルグ港で積み替え後にノルウェーの首都オスロに上陸、鉄道で北部のナルビクまで輸送され、その後はトラックで現地へと運ばれた。



図 16 大学での仮設作業



図 17 大学内で仮設中に一部の天窓を付けたところ



図 18 開口部をふさいでシーリングをしているところ



図 19 3重に固定された光学定盤

4 設置作業

2009年8月6日に名古屋大学から送り出された3台のコンテナは、同年9月29日にノルウェーの観測地に到着した。運搬直後のコンテナの中は、結露がひどくカビが生えていたが、機材に影響は無かった。この時期のノルウェーは秋も終わりに近く、作業は初雪との競争になった。

4.1 コンテナの基礎

コンテナの設置場所は、共同研究を行っているトロムソ大学の管理敷地内で、コンテナの基礎についてはトロムソ大学が準備することになっていた。観測地は凍土に覆われており、地面に沈み込まないようにバラスが引かれた上に、3本のH鋼が並べられていた(図20)。季節変化による土壌の変化により3台のコンテナの位置関係がズレないように、並べられたH鋼の上に3台のコンテナを一体として置くことになった。

4.2 コンテナとレーザー天窓の設置

コンテナは、大型の折りたたみ式クレーンが搭載されたトレーラーによって、H鋼の上に設置された(図21)。その後、前もってコンテナから取り出しておいたレーザー天窓をクレーンでつり上げ、送信コンテナの屋根に取り付けた。大学での仮設とは違い、この時は天窓が乗る部分に前もってシーリング材を塗っておき接合部をシーリング材で埋めるようにした。さらに外と中からもシーリング材を塗って雨漏りがないように隙間を完全に埋めた(図9)。シーリング材はセメダイン社のPOSシール(スピード)を使用した。このシーリング材には塗装がのることから、乾いた後に上から塗装を施した。

4.3 アクリルドーム天窓の取り付け

アクリルドーム天窓の取り付けも、ドームの土台とコンテナとの間にシーリング材をはさみ、外と中から周囲をシーリング材で埋めて、さらに上から塗装を施した(図22)。ステンレス製のドームの土台には、積雪の際に結露して内側に水滴が付いたが、したたり落ちるほどではなかった。ところで、アクリルドームを通して光を受信する際に望遠鏡の像が広がる影響について、結局、現地で確認することになってしまったが、これが予想より大きかったので視野を広げられるように受信機を改造した。また、ドームを通した時とドームを通さない時で、測定結果の違いがないかを確認するために、翌年の秋にドームの一つを取り外し式に改造して同時測定を行った。結果としてはドームの有り無しによる結果の違いは無かったが、視野を広くとるためにバックグラウンドが高くなりS/Nを損ねるので、視野絞りの形を工夫してバックグラウンドを減らす改良を行っている。

4.4 コンテナ間の配線

各コンテナは、制御用のLANケーブルと信号用の同軸ケーブルで結ばれる。これらの配線は、各コンテナに用意したプルボックスから配管したフレキシブルチューブを通して結線した(図23)。また、ルーターを使ってコンテナ間にローカルネットワークを構築した。各コンテナに設置された機材は、RS232C-LANコンバーターやPC延長器を使って、制御コンテナの端末からオペレーションしている。また、ルーターのポートフォワード機能を使って、日本からコンテナ内のPCへのアクセスや温湿度ロガーの監視をしている。

4.5 暖房と温調

冬期に外気温が -25°C まで下がることから温調の中心は暖房となる。そこで、暖房器具として現地で一般的な壁付けヒーターを取り付けた。一方、夏期には白夜となるため温度を一定に保つためには冷房も必要となる。冷暖房用のエアコンはノルウェーでは一般的ではなかったが、トロムソ大学のスタッフが、安価なエアコンを探して設置してくれた。

5 まとめと謝辞

ここで紹介した作業は、プロジェクトリーダーである太陽地球環境研究所第2部門の野澤悟徳准教授と津田卓雄 GCOE 研究員、技術職員の山崎高幸と行った。また、迷ったときは理学部第二装置開発室の小林和宏技術職員に相談した。今回の仕事は、コンテナの発注から現地への設置を約5ヶ月間で終わらせる必要があり、あとから考えればもっとこうしておけば良かったと思うところも少なくないが、初めての経験の割には大きく外すところはなかったと思う。

それにしても、一連の作業には、多くの方の手助けを必要とした。短納期にも関わらず丁寧な仕事をして下さったコンテナ業者の皆さん、名古屋からノルウェーでの設置までを担当して下さいました輸送業者の皆さん、レーザー天窓をととても綺麗に作って下さった職人さん、現地で協力して下さいました Tromsø 大学と EISCAT 観測所の皆さまには、この場をおかりして深く感謝の意を表したい。



図 20 コンテナの土台として用意された H 鋼



図 21 コンテナの設置



図 22 送信コンテナに取り付けられたドーム天窓



図 23 プールボックスと配線



図 24 設置を終えた観測用コンテナ