

### 第3部 研究施設

#### 1. 全天候型人工気象実験施設 (ACEF : Artificial Climate Experimental Facility)



図1 全天候型人工気象実験施設の外観

##### 1.1 施設設置の経緯

全天候型人工気象実験施設(図1)は、平成6年6月、本館、微量放射能影響実験調査施設(現 低線量生物影響実験棟)、生物体移行実験施設及び生物圏物質循環シミュレーション施設(現 生態系実験施設)に続く、4番目の施設として、全天候型環境シミュレーション施設(仮称)の整備を平成7年度から開始するために、平成7年度予算の概算要求に予算要求を行った。その結果、平成6年8月26日のデーリー東北朝刊(図2)を始めとする地元新聞に、科学技術庁(現 文部科学省)が平成7年度予算の概算要求に盛り込んだ旨の記事が掲載された。当所が要求した予算額は、平成7年度に5億円、平成8及び9年度16億円、平成10年度17億円、4年間の合計が54億円であった。

平成7年度予算の概算要求に盛り込まれたことを受け、施設の詳細仕様を取り纏めることが本格化し、国内外の同様な施設の調査、それら施設の建設を手がけたことのある重機械メーカーとの打合せを行い、平成6年末までに施設の仕様を概ね固めた。

同年12月21日の東奥日報(図3)を始めとする地元新聞に、平成7年度政府予算の大蔵原案内示がほぼ明らかとなり、当施設予算として、平成7年度の要求額より6千万円少ない、4億4千万円が内示されたという記事が掲載された。

平成7年度予算には、建設用地の購入と施設全体の基本設計、並びに建屋及び設備の詳細設計の費用が盛り込まれた。建設用地は、むつ小川原開発(株)から本

館等敷地の南側に2.1ha購入した。施設全体の基本設計及び設備の詳細設計は、三菱重工業(株)に、建屋の詳細設計は、東電設計(株)に委託した。設計の基本方針として、本施設内に、人工気象設備の他、当所初の非密封放射性同位元素を取り扱うことのできる放射線管理区域を設けることとした。



図2 平成6年8月26日 デーリー東北朝刊記事 (デーリー東北新聞社の許諾を得て掲載)



図3 平成6年12月21日 東奥日報記事 (東奥日報社の許諾を得て掲載)

その結果、本施設には、大型人工気象設備及び小型人工気象設備の2種類の人工気象設備を整備することとし、小型人工気象設備の一部は、非密封放射性同位元素を取り扱うことのできる放射線管理区域内に整備することとなった。他に、人工気象設備を使用した実験で得られた試料や大型再処理施設から排出された放射性物

質の挙動を把握するために野外で採取した試料を前処理、分析するための実験室、機器分析室、微量元素の処理、分析のためのクリーンルームを整備することとなった。建屋の建設は、大型人工気象設備を整備する大型人工気象棟（仮称）と物質挙動実験棟（仮称）に分けて、2年度に掛けて行うこととなった。

また、本館を始めとする3施設までであれば、東北電力（株）からの受電電圧が6,600Vの高圧受電で可能の契約電力が2,000kW以下とすることができたが、当施設が加わることにより、契約電力を2,000kW以上にする必要が予想された。契約電力を2,000kW以上にするためには、東北電力（株）の電気供給約款から6,600Vの高圧受電では受電出来ず、66,000Vの特別高圧受電にする必要があることが分かり、特別高圧受電設備を追加で要求することとなった。

最終的に、特別高圧受電設備の追加要求及び平成9年4月1日に実施された消費税増税により、施設整備費は総額56億8千万円とし、各年度予算の都合により、平成12年度までの6年間で整備することとなった。

## 1.2 施設整備

平成7年度に実施した建屋及び設備の詳細設計を受け、平成8年度から整備が開始された。各年度の整備状況を表1に示した。

平成8年度は、主に物質挙動実験棟の建設及びそれに関連する一部研究設備の整備を行った。

物質挙動実験棟の建設は、平成8年6月3日に実施

した入札の結果、大手建設会社の大成建設（株）、準大手建設会社の佐藤工業（株）及び青森県内の建設業者である岡山建設（株）の3社による共同企業体に発注し、同年6月18日に安全祈願祭を行い、建設が始まった。関連する研究設備は三菱重工業（株）に発注し、建屋建設の進捗に合わせ9月から始まった。

平成9年度は、主に大型人工気象棟の建設、物質挙動実験棟の空調設備、放射線管理区域の安全管理設備、及び特別高圧受変電設備の基本設計を行った。大型人工気象棟の建設は、物質挙動実験棟の建設に引き続き、大成・佐藤・岡山建設共同企業体に発注した。また、物質挙動実験棟の空調設備に必要な温水ボイラー、空冷チラー等熱源設備は、三菱重工業（株）に発注した。さらに、特別高圧受変電設備の基本設計は、（株）クリハラントに発注した。

平成10年度は、主に放射線管理区域内に小型人工気象設備を整備するとともに、平成11年度から運用を予定していた放射線管理区域のための安全管理設備の整備を行った。いずれの整備も三菱重工業（株）に発注した。また、放射性物質測定のための分析機器の整備を開始し、アロカ（株）製の液体シンチレーション測定装置等を購入した。

平成11年度は、主に一般区域用の小型人工気象設備、環境試料中の微量元素を測定するためのクリーンルーム設備、及び大型人工気象設備の一部設備の整備を行った。いずれの整備も三菱重工業（株）に発注した。また、各種実験に必要な実験台設備を整備するとともに、

表1 全天候型人工気象実験施設整備年次計画

項目	平成7年度	平成8年度	平成9年度	平成10年度	平成11年度	平成12年度
土地購入	←→					
基本設計	←→					
詳細設計	←→					
建屋建設		←→				
物質挙動実験棟			←→			
大型人工気象棟				←→		
構内整備				←→		
研究設備整備				←→		
放射線同位元素使用施設				←→		
人工気象設備					←→	
給排気・安全管理設備等		←→				
一般化学実験施設					←→	
人工気象設備					←→	
クリーンルーム等設備					←→	
熱源空調設備等			←→			
大型人工気象施設					←→	
人工気象設備					←→	
受変電施設		←→				
受変電設備		←→				
分析機器整備				←→		
実験台設備整備					←→	
特別高圧受変電設備			←→			
設計			←→			
設備整備					←→	←→

分析機器の整備が本格化し、放射性物質測定のための Ge 半導体核種分析装置や環境試料中の微量元素を測定するための ICP 質量分析器等を購入した。さらに、特別高圧受変電設備は、平成 9 年度に行った基本設計の結果、本年度に設備の製作、翌年度の平成 12 年度に設備の設置を行うこととなり、入札の結果、設備の製作を (株) 高岳製作所に発注した。

平成 12 年度は、全天候型環境シミュレーション施設の整備最終年度であり、主に大型人工気象設備の整備を行うとともに、特別高圧受変電設備の据え付け、調整を行った。大型人工気象設備の整備は、三菱重工業 (株) に、また特別高圧受変電設備の据え付け、調整は (株) 高岳製作所に発注した。特別高圧受変電設備への東北電力 (株) からの受電は、平成 13 年 2 月 7 日に行い、同年 2 月 10 日に、本所全域の停電を行い、高圧の 6,600 V 受電から特別高圧の 66,000 V 受電へ変更するため、負荷側の切替を行った。また、様々な分析機器も整備し、走査型分析電子顕微鏡、放射線管理区域内用の ICP 質量分析装置等を購入した。

平成 13 年 3 月 31 日に全ての整備を完了したのを受け、平成 13 年 4 月 20 日に、六ヶ所村文化交流プラザ「スワニー」の大会議室において、技術使用説明会を行い、その後、施設の一般公開を実施した (図 4)。



図 4 平成 13 年 4 月 21 日 デーリー東北朝刊記事 (デーリー東北新聞社の許諾を得て掲載)

### 1.3 人工気象設備の仕様

人工気象設備の仕様については、平成 12 年 12 月に発行した環境研十年誌 (pp181-185) 及び川端ら (2002) に詳細を記載したため、詳細仕様については割愛するが、以下に簡述する。

#### 1.3.1 大型人工気象設備

大型人工気象設備の鳥瞰図を図 5 に、室内の写真を図 6 に示した。また、再現出来る各要素の範囲を表 2 に示した。表 2 に示した範囲は、各要素を単独で運転した場合であり、組み合わせて運転した場合の範囲は、各要素を単独で運転した場合と異なる。また、各項目を自由に組み合わせて運転出来るわけではなく、要素の組合せには制限がある。

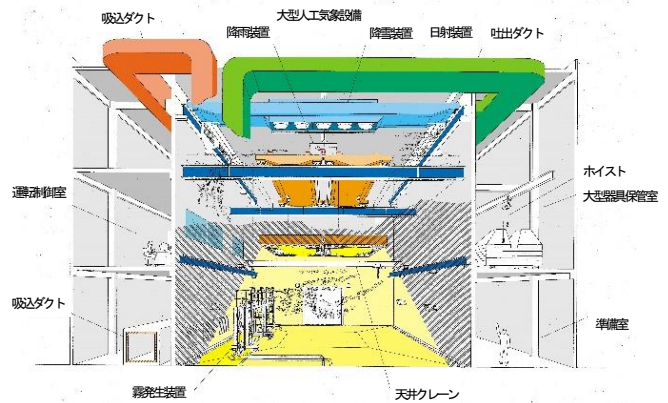


図 5 大型人工気象設備の鳥瞰図

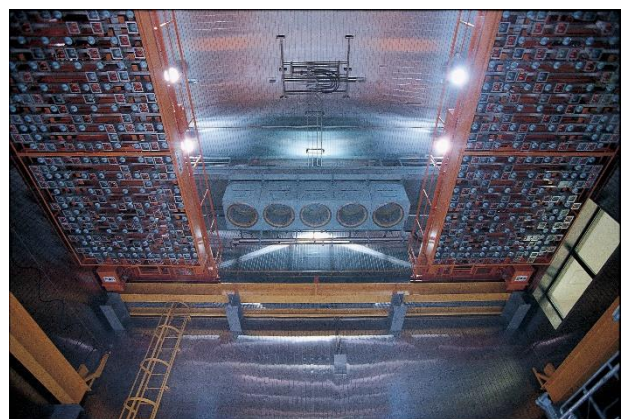


図 6 大型人工気象室内の写真

大型人工気象設備は、温度及び湿度の他、太陽光の模擬、降雨及び降雪を再現することができる。また、北東北から北海道の太平洋沿岸における夏季特有な気象である「やませ」時によく発生する霧の再現も可能である。

さらに、塵や埃の総称であるエアロゾルを発生することが可能である。日本で降る雨ややませ時に発生する霧の pH は、大気中の二酸化炭素が雨や霧に溶け込み平衡状態になった pH より小さく、酸性化しているため、降雨及び霧については、酸性雨及び酸性霧を再現することも可能である。酸性雨を再現する装置は、平成 20 年度に機能改修を実施し、降雨量の再現のみではなく、雨滴径及び雨滴の落下速度を自然の雨の条件に概ね合わせた。

表 2 大型人工気象設備の仕様

項目	運転範囲
大きさ (m)	12W×11D×13H
温度 (°C)	-25 - +50
相対湿度 (%RH)	20 - 90
照度 (klx)	15 - 50
降雨 (mm h <sup>-1</sup> )	10 - 100
降雪 (mm day <sup>-1</sup> )	50 - 250
霧 (g m <sup>-3</sup> )	0.2 - 2
酸性雨 (mm h <sup>-1</sup> )	10 - 20
酸性霧 (g m <sup>-3</sup> )	0.2 - 2
エアロゾル	固体及び液体

### 1.3.2 小型人工気象設備

小型人工気象設備の鳥瞰図を図 7 に、室内の写真を図 8 に示した。また、整備当時の再現できる各要素の範囲を表 3 に示した。表 3 に示した範囲は、大型人工気象設備と同様、各要素を単独で運転した場合であり、組み合わせて運転した場合の範囲は、各要素を単独で運転した場合と異なる。

小型人工気象設備で再現できる要素は、温度及び湿度の他、太陽光の模擬のみとなる。但し、設備全体での温度の運転範囲は、大型人工気象設備より広く、日本全国の平地を網羅できる -40°C から +50°C である。

全天候型人工気象実験施設の人工気象設備に整備されている太陽光を模擬するための日射装置は、東芝ライテック (株) 製のメタルハライドランプ及びハロゲン

ランプを、また一部のメタルハライドランプに特殊フィルターを組合せ、3 種類の光源を用いることにより、太陽光の分光分布に近似した仕様であった。しかし、メタルハライドランプの製造中止に伴い、小型人工気象設備の日射装置を平成 27 年度に更新した。更新に伴い日射装置の仕様に変更となり、最大照度は 50 klx となった。また、光源をメタルハライドランプのみの単光としたため、太陽光の分光分布とは異なり、光スペクトルは、主に可視光となった。

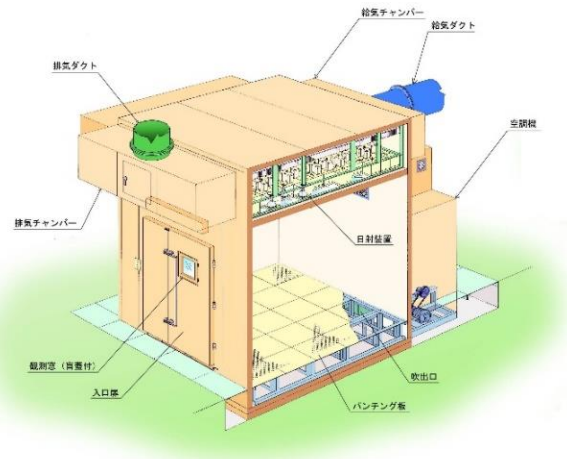


図 7 小型人工気象設備の鳥瞰図



図 8 小型人工気象室内の写真

また、オゾン層保護のための国際枠組みを履行するために制定された「特定物質の規制等によるオゾン層

表 3 小型人工気象設備の仕様

項目	運転範囲				
	一般-A	一般-B	一般-C	RI-A	RI-B
大きさ (m)	2.7W×2.7D×2.5H				
温度 (°C)	-5 - +50	-15 - +50	-40 - +50	-5 - +50	-40 - +50
相対湿度 (%RH)	20 - 90	20 - 90	20 - 90	20 - 90	20 - 90
照度 (klx)	21 - 70	21 - 70	21 - 70	21 - 70	21 - 70

の保護に関する法律」(オゾン層保護法)に従い、人工気象設備の空調設備に使用されている冷凍機の冷媒(HCFC-22)が製造中止となることから、順次、冷凍機交換を進めており、令和3年末時点で小型人工気象設備の一般-B及びCの冷凍機交換が完了し、冷媒は特定フロンから代替フロンのHFC404Aに変更した。

## 1.4 施設の運用

### 1.4.1 人工気象設備の運用

人工気象設備の運用に先立ち、国際検討委員会を実施することとし、国内から8名、外国から3名の委員で委員会を構成し、平成9年3月4日及び5日に準備委員会を開催し、プログラムの骨子、及び国内外の招待者の検討を行った。準備委員会の結果を受け、平成9年10月14日から16日にかけて、六ヶ所村文化交流プラザ「スワニー」の大会議室において、「International Meeting on Influence of Climatic Characteristics upon Behavior of Radioactive Elements (放射性物質の挙動に及ぼす気象の影響に関する国際検討委員会)」を開催し、国内外の研究者に全天候型環境シミュレーション施設の構想と研究計画について説明を行うとともに、関連する研究施設及び研究成果について情報収集を行った。検討委員会の詳細に関しては、第5部第1章 国際シンポジウム等の開催を参照されたい。

平成12年度末に、全施設の整備が完了したが、既に整備が完了していた小型人工気象設備については、整備完了後随時運用を開始した。平成12年度末に整備が完了した大型人工気象設備は、小型人工気象設備と異なり、多くの機器から構成されていることから、平成13年度の上期に運転方法の習熟を行い、同年度下期から運用を開始した。運用開始後、青森県からの受託調査(表4)に関する実験に使用するとともに、青森県原子力センター等との共同研究にも使用した。

表5に最近5か年の人工気象設備の稼働率を示した。小型人工気象設備は、概ね設備の定期点検を除き、運転されている状況で高い稼働率を維持している。大型人工気象設備での実験では、大型機材の準備、後片付けに日数を要するため、稼働率が10~20%に留まっている。

表4 青森県からの受託調査

事業名	調査期間
特殊気象影響調査	H8~H12
気圏環境動態調査	H13~H17
陸圏環境動態調査	H13~H17
元素集積植物調査	H18~H22
微量元素葉面挙動調査	H18~H22
放射性物質形態別移行調査	H18~H22
放射性ヨウ素環境移行パラメータ調査	H23~H27
青森県産物放射性物質移行調査(第1期)	H27~R1
放射性物質環境移行低減化調査	H28~R2
青森県産物放射性物質移行調査(第2期)	R2
放射性物質異常放出事後対応調査	R3~

表5 人工気象設備の稼働率

設備	稼働率(%)					
	H29	H30	R1	R2	R3	
大型人工気象設備	8	15	17	10	13	
小型人工気象設備	一般-A	95	96	95	92	95
	一般-B	60	36	35	25	35
	一般-C	42	36	39	25	31
	RI-A	77	76	76	84	68
	RI-B	89	84	95	94	88

### 1.4.2 その他分析機器等の使用状況

全天候型人工気象実験施設には、使用済み核燃料を再処理する商業用再処理工場から排出されるトリチウム( $^3\text{H}$ )や放射性ヨウ素の $^{129}\text{I}$ 、また、福島第一原子力発電所事故で環境に放出された放射性セシウム( $^{134,137}\text{Cs}$ )等の放射性物質を測定するための分析機器や、様々な環境試料中の主要元素や微量元素を測定するための分析機器が整備されている。

主なものとしては、トリチウムを測定するための液体シンチレーションカウンター(図9)、トリチウムでも非常に低濃度の試料を測定するための希ガス測定用質量分析装置(図10)、放射性セシウム等のガンマ線放出核種を測定するためのGe半導体検出器付多重波高分析装置(図11)、 $^{129}\text{I}$ 等を測定するためのICP質量分析装置(図12)がある。希ガス測定用質量分析装置は、希ガスを測定するための質量分析装置で、トリチウムの放射壊変により生成された希ガスのヘリウムを測定することにより、トリチウムの濃度を決定している。液体シンチレーションカウンターや希ガス測定用質量分析装置を用いることにより、青森県が商業用再処理工場周辺で実施している環境放射線等モニタリングで定

量下限値以下として示された試料でも検出が可能な場合がある。Ge 半導体検出器付多重波高分析装置は、青森県からの受託調査の他に、福島第一原子力発電所事故後、近隣自治体からの放射性セシウムの測定や、文部科学省が実施した「放射性物質の分布状況等に関する調査研究」における放射性セシウムの土壌マップ作成について、日本原子力研究開発機構からの受託調査に使用された。



図 11 Ge 半導体検出器付多重波高分析装置



図 9 液体シンチレーションカウンター  
(日立アロカメディカル LSC-LB7R48-1)



図 12 ICP 質量分析装置  
(アジレント・テクノロジー Agilent8800)



図 10 希ガス測定用質量分析装置  
(Nu Instruments Noblesse HR)

### 1.5 施設を用いて得られた成果

全天候型人工気象実験施設を使用して得られた成果は、第 2 部 研究開発の 1. 環境影響研究に纏められており、国際誌等に発表した論文は、資料集 (7) の発表論文リスト (環境影響研究) に記載されている。

人工気象設備を使用して得られた代表的な成果には、土壌中元素の存在形態の時間変化が作物への移行に及ぼす影響に関する実験の結果 (Takeda *et al.* 2013, 2015) などがある。

その他分析機器等を使用して得られた代表的成果には、環境研主要成果に記述したアクティブ試験前後のトリチウム濃度変化の調査結果 (Hasegawa *et al.* 2017, Ueda *et al.* 2022 等) や福島第一原子力発電所事故に伴い放出された放射性物質の環境中動態に関する調査結果 (Kakiuchi *et al.* 2012, Ochiai *et al.* 2016 等) などがある。

### 引用文献

- Hasegawa *et al.* (2017) *J. Environ. Radioact.*, 171, 65-73.  
 Kakiuchi *et al.* (2012) *Sci. Rep.*, 2, 947.  
 川端ら (2002) *寒地技術論文・報告集* 18, 753-760.  
 Ochiai *et al.* (2016) *J. Environ. Radioact.*, 165, 131-139.  
 Takeda *et al.* (2013) *J. Environ. Radioact.*, 122, 29-36.  
 Takeda *et al.* (2015) *Radiat. Prot. Dosimetry*, 167, 181-186.  
 Ueda *et al.* (2022) *Radiat. Prot. Dosimetry*, 198, 957-963.