

2. 閉鎖型生態系実験施設（CEEF：Closed Ecology Experiment Facilities）[設置当初（平成 28 年 8 月迄）の名称：現在の名称：生態系実験施設及び生態系研究施設]

2.1 整備構想、用地取得、設計及び植物系整備

平成元～2 年度に科学技術庁に設置された新研究所計画検討委員会において、地球環境中での生態系を介する物質の移行・循環を調べることを目的とした閉鎖型生態系実験施設（以後、CEEF）の整備構想が検討された。

これに基づき、青森県からの補助金事業：生物影響実験調査設備等整備事業において、平成 4 年度には CEEF の概念設計を行い、平成 5 年 3 月末に CEEF 及び低線量生物影響実験棟（以後、低線量棟、125～126 ページ）の建設用地 29,533.88 m² をむつ小川原開発(株)から購入し、平成 5 年度には CEEF の詳細設計を行った。また、補助金事業：生物圏物質循環実験調査設備等整備事業では、平成 6 年度に CEEF の閉鎖系植物実験施設（Closed Plant Experiment Facility, 以後 CPEF）の建屋（図 1）及び人工光型植物栽培室（図 2）3 基を整備し、平成 7 年 3 月 22 日に新たに建設用地 6,060.00 m² を購入し、平成 7 年度に CPEF の自然光人工光併用型植物栽培室 1 基（図 3）を整備するとともに、平成 6～7 年度に CPEF の物理化学的物質循環システム（空気処理設備（図 4）、水処理設備（図 5）、養液処理・調整設備（図 6）、廃棄物処理設備（図 7）等）を整備した（第 2 部 2.1.2.1.2 節参照）。

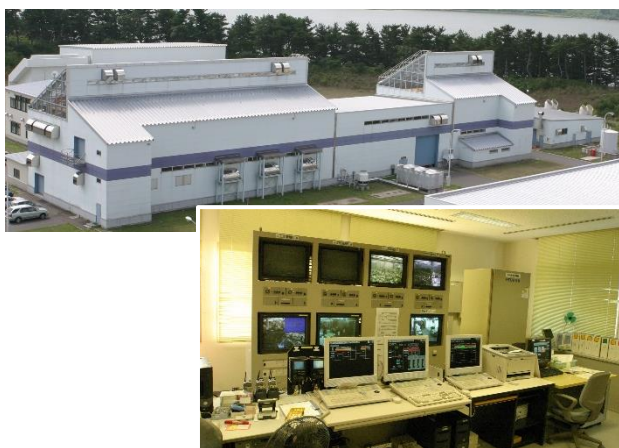


図 1 CEEF_閉鎖系植物実験施設_建屋（上）及び制御室（下）



図 2 CEEF_閉鎖系植物実験施設_人工光型植物栽培室（床面積 43 m²、容積 146 m³、栽培面積 30 m²、3 室）及び植物栽培モジュール 1F 作業室（右下）

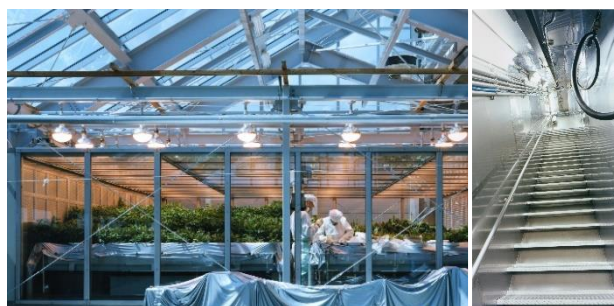


図 3 CEEF_閉鎖系植物実験施設_自然光人工光併用型植物栽培室（床面積 65 m²、容積 239 m³、栽培面積 60 m²、1 室）及び閉鎖系階段（右）

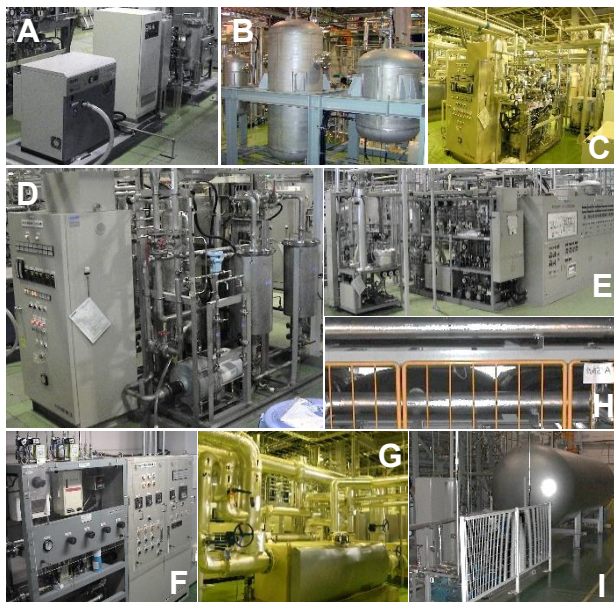


図 4 CEEF_閉鎖系植物実験施設_空気処理設備（A：O₂分離装置，B：N₂・CO₂・O₂貯槽，C：CO₂分離装置（吸脱着剤：固体アミン，温度圧カスイング法），D：微量有害ガス制御装置（リン酸添着活性炭，アルカリ添着活性炭，パラジウム触媒），E：O₂再生装置（サバチエ第 1・第 2 反応），F：CO₂注入装置，G：臭気処理装置）と内圧制御装置（H：ゴムバフファ，I：コンプレッサ+エアタンク）



図 5 CEEF_閉鎖系植物実験施設_水処理設備（前左：上水槽（空調凝縮水受入れ）、後：中水槽（廃養液からの回収水受入れ）、右後：肥料用水槽（養液調合用浄化水タンク）、右下：紫外線殺菌装置）



図 6 CEEF_閉鎖系植物実験施設_養液処理・調整設備（左：肥料廃水処理装置（RO（逆浸透）膜使用）、右：養液調整装置（廃棄物湿式酸化分解溶液、窒素固定設備で作製したアンモニア水及び硝酸水、または濃縮養液、各ミネラル成分溶液（EDTA 鉄溶液等）などから凝縮水・回収水を用いて作物栽培液を調合、pH 調整し各栽培床へ順次送液）



図 7 CEEF_閉鎖系植物実験施設の廃棄物処理設備（A：湿式酸化装置，B：廃棄物処理排ガス処理設備，C：炭化処理装置，D：燃焼処理装置）と窒素固定設備（E：N₂と水からアンモニアと硝酸合成）

2.2 動物飼育・居住系整備

平成 8～9 年に、CEEF の動物飼育・居住実験施設（Closed Animal holding and Habitation Experiment Facility, 以後、CAHEF）を整備した。CAHEF の動物飼育・居住モジュール（第 2 部 2.1.2.1.2 節参照）は 51 m² の床面積と 123 m³ の容積を持つ居住区（図 8A-E）、22 m² の床面積と 54 m³ の容積を持つ動物飼育区（図 8F）、163 m³ の容積を持つ閉鎖系通路（図 8G）、及び 8 m³ の容積を持つエアロックから成る。

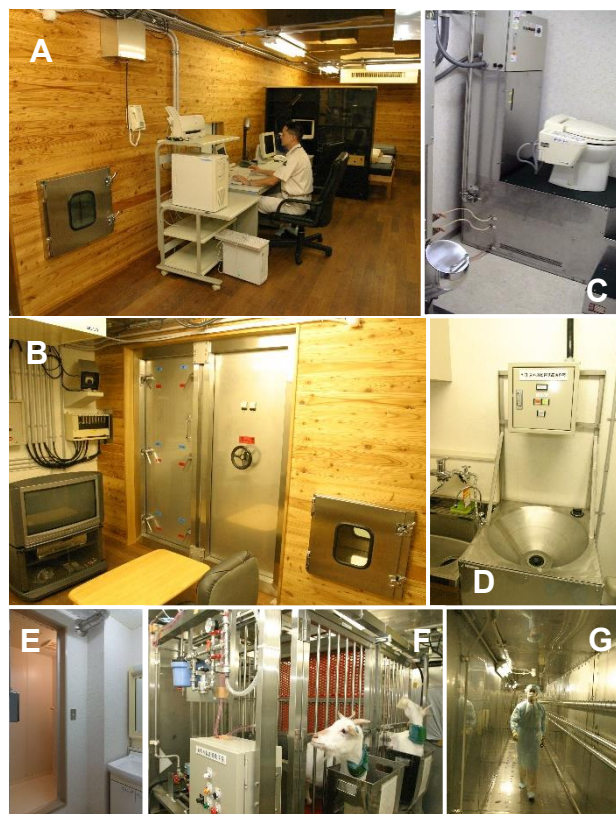


図 8 CEEF_閉鎖系動物飼育・居住実験施設の動物飼育・居住モジュール（A：居住区（書棚の奥がベッド）、B：居住区のパスボックス、脱出用密閉扉、C：乾燥トイレ及び尿採取装置、D：食物屑粉碎装置、E：シャワー室、F：動物飼育区_動物飼育檻）及び G：閉鎖系通路

CAHEF は物理化学的物質循環・環境計測制御システム（図 9：空気処理設備、図 10：排水処理設備、図 11：廃棄物処理設備・ミネラル回収装置等）を持つ。

環境研主要成果「物質循環閉鎖居住実験」は、CPEF と CAHEF を結合し、第 2 部第 2 章図 3～10 に示す設備を稼働して実施した。

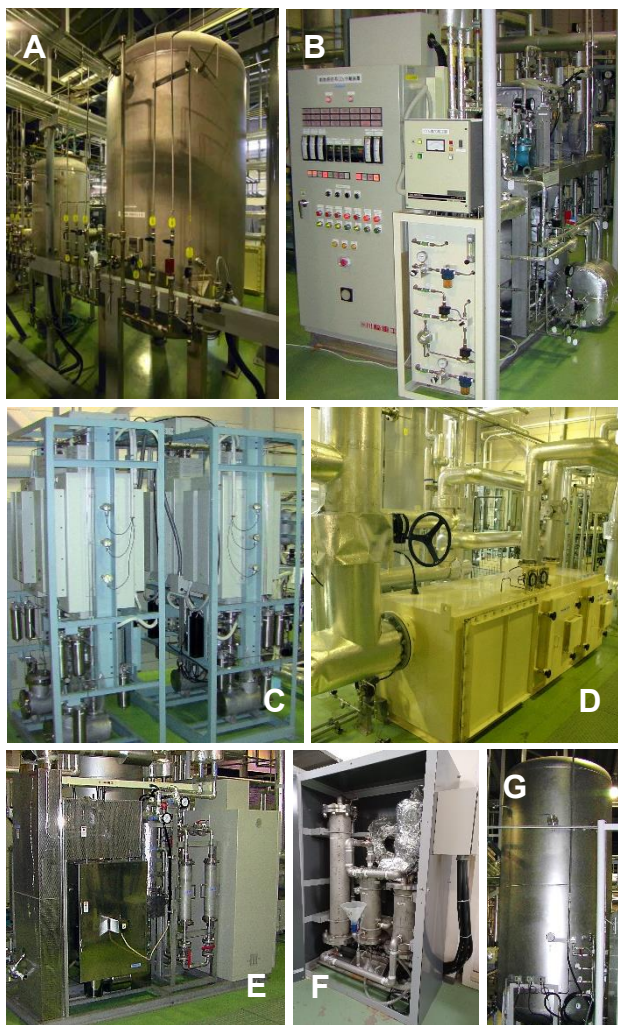


図 9 CEEF_閉鎖系動物飼育・居住実験施設_空気処理設備 (A: O_2 ・ CO_2 ・ N_2 貯槽, B: CO_2 分離装置(吸脱着剤:固体アミン, 温度圧カスイング法), C: O_2 再生装置(サバチエ第1・第2反応), D: 臭気処理装置, E: 微量有害ガス制御装置(リン酸添着活性炭, アルカリ添着活性炭, パラジウム触媒), F: 乾燥トイレ NO_x 除去ユニット(乾燥トイレ運転時に発生し問題となった NO_x を酸化し水溶・除去)) 及び内圧制御装置 (G: コンプレッサ+エアタンク)



図 10 CEEF_閉鎖系動物飼育・居住実験施設_排水処理設備 (RO (逆浸透) 膜使用)

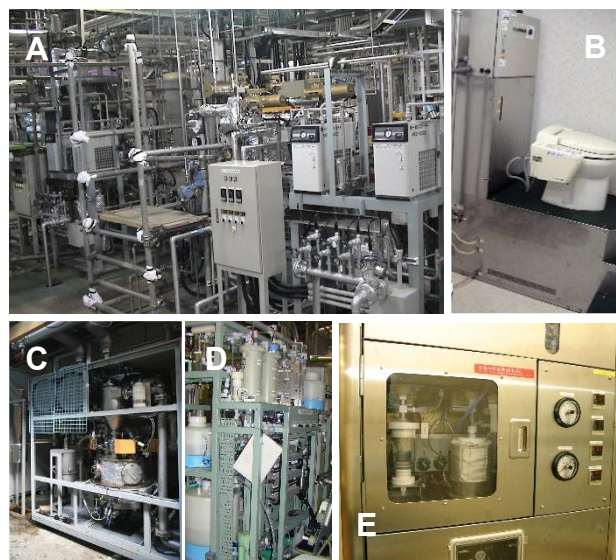


図 11 CEEF_閉鎖系動物飼育・居住実験施設の廃棄物処理設備 (A: 尿及び固形廃棄物湿式酸化装置, B: 乾燥トイレ(炭化処理), C: 尿・動物糞炭化処理装置) 及びミネラル回収装置(電気透析器(D)ではイオン交換膜によって尿の湿式酸化処理液から 1 価のイオンを回収・濃縮する。動物飼育・居住モジュールの居住区内に設置された晶析器(E)では塩濃縮液を蒸発・濃縮し析出した塩を濾過・回収する)

2.3 閉鎖系陸・水圏実験施設及び生物圏物質循環総合実験棟の整備

平成 11 年度までに閉鎖系陸・水圏実験施設(図 12)が整備され、平成 12 年度末までに、物質循環閉鎖居住実験を実施するための各種準備・運用作業等を行う施設として生物圏物質循環総合実験棟(図 13, 居住実験研究棟と改称)が整備された。

以上により、第 2 部第 2 章 図 2 に構成を示す CEEF の全施設(図 14, 15 及び表 1)が竣工した。



図 12 閉鎖系陸・水圏実験施設. 前方: 閉鎖系陸圏実験施設(環境研主要成果「湿地生態系炭素収支の解明」を実施), 後方: 閉鎖系水圏実験施設



図 13 生物圏物質循環総合実験棟（居住実験研究棟）。1 階に植物栽培実験用人工気象器（図 16）を設置した部屋、炭素・水素同位体を測定する同位体質量分析装置（図 17）・イオンクロマトグラフ等を設置した分析室及び試料前処理室、水生生物を用いた実験を実施できる防水床・排水溝を持つ実験室（図 18）等、2 階に研究員室、会議室等を備える。



南東からの鳥瞰



北東からの鳥瞰

図 14 CEEF の全体写真

閉鎖系陸圏実験施設は南面及び傾斜した天井がガラス張りで、特殊な鉄筋コンクリート建屋・ガラス枠のシリコン製ガスケット・内圧制御装置により気密性を確保した陸圏モジュール（南北 8.7 m×東西 5.8 m×中心深さ 3.0 m の土壌槽を有し、地上部の高さ 6.2～11.2 m、容積 575 m³）、降雨・霧発生装置、空気処理設備、淡水処理設備などの物質循環・環境計測制御システムを有し、CO₂、O₂、CH₄などのガス濃度制御・ガス収支測定が可能である。

閉鎖系水圏実験施設は、容量 20 t の生物飼育槽 2 基、人工海水槽 1 基、泡沫分離による海水有機物除去装置等が設置された面積 140 m² の気密性の水圏モジュールのほか、空気処理設備、海水成分調整装置、スラッジ処理装置、植物プランクトン

ン培養設備（直径 1.8 m×高さ 1.3 m の培養槽 2 基を有する）、高圧水槽設備（7 MPa）などの物質循環・環境計測制御システムを有する。

CEEF の CPEF では、イネ、ダイズ、ダイコン、葉菜等の作物の生育段階別 ¹³C₂CO₂ ばく露実験による植物群落放射性炭素移行モデル検証、乳牛、肉牛及びヒトにおける放射性炭素代謝モデル検証のための ¹³C 標識牧草、イネ、ダイズ等の生産、水田及び畑地の作物群落光合成モデル作成のためのガス交換データ取得等を行い、CAHEF ではヒト等の O₂ 及び CO₂ のガス交換データ等を取得した。また、居住実験研究棟に設置された人工気象器では、ヒトのトリチウム代謝モデル検証のための重水素標識イネ、ダイズの作製等を行った。さらに、閉鎖系陸・水圏実験施設の閉鎖系陸圏実験施設では「湿地生態系炭素収支の解明」を、閉鎖系水圏実験施設では「沿岸域アマモ群落生態系」の構築及び炭素移行データ取得を行った。以上の成果を以て CEEF は整備当初の目的を達成した。

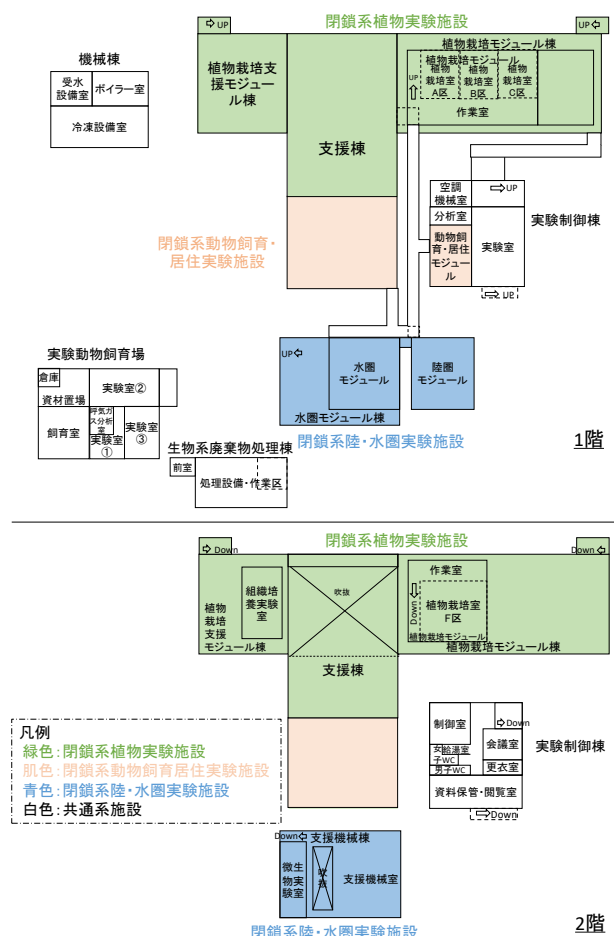


図 15 (1) CEEF 主要施設の平面配置図

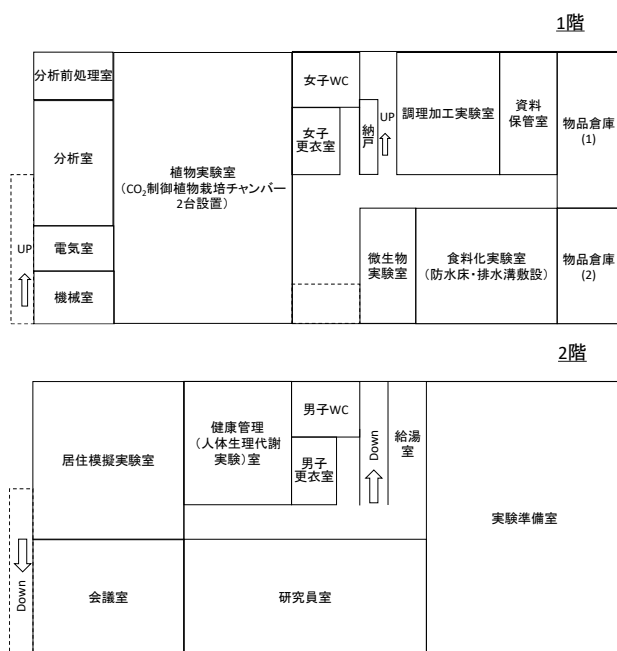


図 15 (2) CEEF_居住実験研究棟の平面配置図

表 1 CEEF の各施設及び付帯設備の設置面積

施設建屋名	延床面積 (m ²)
植物栽培モジュール棟	1,162
支援棟	1,215
植物栽培支援モジュール棟	600
実験制御棟	755
閉鎖系通路	80
陸圏モジュール棟	72
水圏モジュール棟	840
実験動物飼育場	128
機械棟	300
生物系廃棄物処理棟	86
居住実験研究棟	973



図 16 CO₂ 濃度制御植物栽培チャンバー

2.4 閉鎖型生態系実験施設の大規模改修及び改称

平成 27 年度より青森県産の主要農水産物における放射性核種移行モデル作成調査を開始し、そ



図 17 炭素・水素安定同位体用同位体質量分析装置
(環境研主要成果「トリチウムの現実的な線量係数」、「放射性炭素とトリチウムの作物への移行 (71 ページ)」、「海水から海洋生物への移行 (71 ページ)」等の評価や「堆肥化による炭素挙動の調査 (91 ページ)」、「土壌における炭素の蓄積と放出の調査 (92 ページ)」等において、ヒト呼気、生物試料等の ¹³C や重水素の定量を実施)



図 18 CEEF_居住実験研究棟の防水床と排水溝を敷設した実験室 (循環式実験水槽群を設置)

れまで対象として来なかったリンゴ、ナガイモなどの大型作物のばく露実験を可能とするため、平成 26～28 年度に植物栽培モジュールの改修を行った。閉鎖系植物栽培室から養液栽培床は撤去して栽培植物の高さを大きく取り、C 区は同位体質量分析計を用いたフィードバック制御で ¹³CO₂ 等の濃度を正確に制御可能なばく露室とし(図 19 及び 20)、A, B, F 区は完全人工光型で ¹³CO₂ 等の濃度をモニター可能とした(図 21 及び 22)。本施設では鉢植えのリンゴ幼木等を実験に供した。なお、令和 2 年度に開発した野外 (果樹園) リンゴ成木の ¹³CO₂ ばく露用可搬型チャンバーシステム (図 23) を用いたトレーサ実験を行い(Tako *et al.* 2022)、果樹を対象とした放射性炭素移行調査を終了した。

さらに、施設の冷温設備等の老朽化を受け、令和 4 年度には、鉢植えナガイモの ¹³CO₂ 等ばく露用の新たなばく露チャンバー (LED 照明採用) を、後述する「生態系研究施設」に設置した(図 24)。

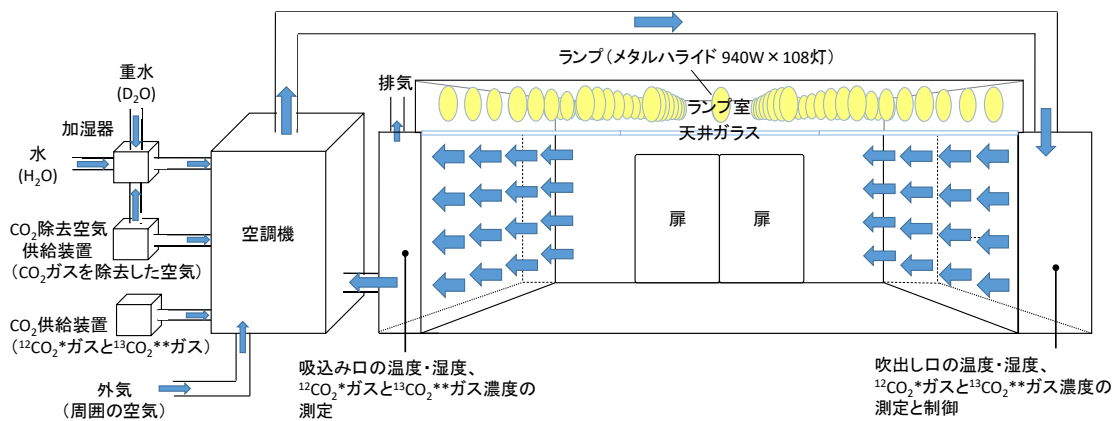


図 19 植物栽培モジュール（植物栽培室 C 区）を改修して設置した大型作物 ¹³CO₂ ばく露システムの模式図

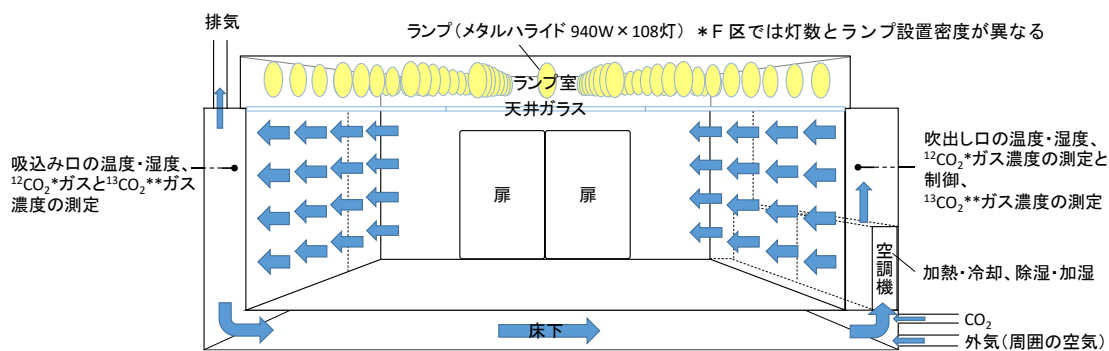


図 21 植物栽培モジュール（植物栽培室 A, B, F 区）を改修して設置した大型作物栽培設備の模式図



図 20 改修した植物栽培室における鉢植えリンゴ樹 ¹³CO₂ ばく露の様子



図 23 野外（果樹園）におけるリンゴ成木 ¹³CO₂ ばく露の様子



図 22 改修した植物栽培室における鉢植えリンゴ樹栽培の様子



図 24 鉢植えナガイモの ¹³CO₂ ばく露に用いるチャンバー

一方、青森県産主要海産物としては、県魚ヒラメやホタテガイを対象としたトリチウム移行調査のため、循環式実験水槽群（図 18）を用いて重水ばく露実験を実施するとともに、放射性ヨウ素移行モデル作成用データ取得のため、後述する「生態系研究施設」の一部の実験室を令和 2 年度に改修して RI 域外使用区域を設定し（図 25）、ヒラメ等を対象とした放射性ヨウ素トレーサ実験を行っている。



図 25 ヒラメ等における放射性ヨウ素の長期的移行調査のため RI 域外使用区域として設定し、防水床、排水溝等を敷設した実験室

なお、以上は、放射性核種移行データをより効率的に取得するための改修であり、必ずしも閉鎖された実験系のみで運用しないことから、平成 28 年 9 月には「閉鎖型生態系実験施設」の名称は「生態系実験施設」に変更され、さらに、平成 31 年 4 月からは「居住実験研究棟」であった建屋を「生態系研究施設」、それ以外を「生態系実験施設」と称することになり、「生態系研究施設」には令和 4 年 4 月に新たにトリチウム研究センター室が設置された。図 26 に令和 4 年度末時点の施設・建屋・部屋の名称を示す。

引用文献

Tako et al. (2022) *Radiat. Prot. Dosimetry*, 198, 1175-1182.

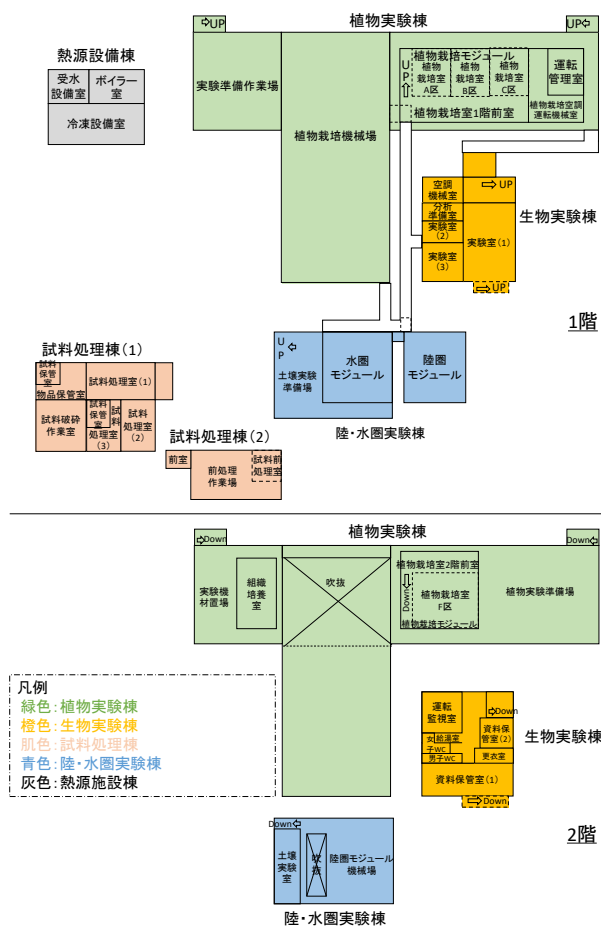


図 26 (1) 生態系実験施設の平面配置図と令和 4 年度末における建屋、部屋等の名称

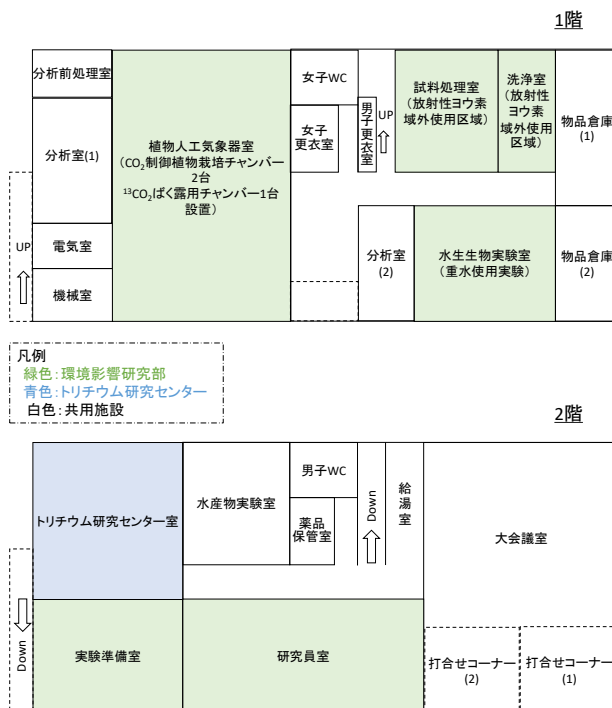


図 26 (2) 生態系研究施設の平面配置図と令和 4 年度末における部屋等の名称