JAEA-Research
2012-019

JAEA-Research

# 芝地造成による土壌の浄化による土壌環境回復試験

Rehabilitation Experiment by Phytoremediation Using Lawn Grass

福島技術本部　福島環境安全センター
人形峠環境技術センター
安全研究センター　サイクル施設等安全研究ユニット
地層処分研究開発部門　地層処分基盤研究開発ユニット
バックエンド推進部門

Fukushima Environmental Safety Center,
Headquarters of Fukushima Partnership Operations
Ningyo-toge Environmental Engineering Center
Fuel Cycle Safety Research Unit,
Nuclear Safety Research Center
Geological Isolation Research Unit,
Geological Isolation Research and Development Directorate
Nuclear Cycle Backend Directorate

August 2012

Japan Atomic Energy Agency　日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ（http://www.jaea.go.jp）
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構　研究技術情報部　研究技術情報課
〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2012

JAEA- Research　2012-019

# 芝地造成による土壌の浄化による土壌環境回復試験

日本原子力研究開発機構
福島技術本部　福島環境安全センター
人形峠環境技術センター
安全研究センター　サイクル施設等安全研究ユニット
地層処分研究開発部門　地層処分基盤研究開発ユニット
バックエンド推進部門

（2012 年 6 月 1 日　受理）

2011 年 3 月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故に起因した放射能汚染対策が、現在福島県をはじめとして各地で進められている。汚染対策の一つである植物を用いた除去技術（ファイトレメディエーション）について、芝草を用いたフィールド試験を行った。芝草は、他の植物に比べて根域深度が浅くかつ生育密度が高く、マットを形成するという特徴を有する。試験としては、芝草への吸収による放射性セシウムの除染と芝草の剥離による除染の効果を把握することを目的とした。結果としては、芝草への吸収は小さく、その除染係数は最大でも 1%未満であった。一方、芝草の剥離による除染は、育成が順調に進んだものは 100%に近い効果が得られた。国における除染方針及び各自治体で策定された除染計画に従い、今後様々な方法により除染が進められる。芝草を用いたファイトレメディエーションは、限定的な適用が可能と考えられる。

人形峠環境技術センター：〒708-0698 岡山県苫田郡鏡野町上齋原 1550

JAEA-Research 2012-019

# Rehabilitation Experiment by Phytoremediation Using Lawn Grass

Fukushima Environmental Safety Center, Headquarters of Fukushima Partnership Operations,
Ningyo-toge Environmental Engineering Center,
Fuel Cycle Safety Research Unit, Nuclear Safety Research Center,
Geological Isolation Research Unit, Geological Isolation Research and Development Directorate,
Nuclear Cycle Backend Directorate

Japan Atomic Energy Agency
Kagamino-cho, Tomata-gun, Okayama-ken

(Received June 1, 2012)

Measures against environmental contamination by radioactive materials originated from the Fukushima Nuclear Accident (May, 2011), are being conducted in Fukushima and surrounding prefectures. Regarding to the measures, a phytoremediation experiment with several types of lawn grasses in a field scale have been carried out. Lawn grasses are generally characterized by shallow rizosphere, high density and root mat formation. Decontamination effectiveness of radioactive cesium by plant uptake and by sod removing was investigated. As a result, the range of decontamination factors by plant uptake was below than 1% because of low transfer rate form soil to plant. On the other hand, maximum decontamination factor by sod removing reached about 100%. Decontamination activities with various methods will be implemented according to the national decontamination policy and related plans in each municipality. The phytoremediation method with lawn grass would be applicable in limited circumstances.

Keywords: Cs-134, Cs-137, Soil, Phytoremediation, Lawn Grass

目次

1. 序論 ..... 1
2. 試験方法 ..... 1
2.1. 試験場所 ..... 1
2.2. 試験の概要 ..... 2
2.3. 芝地造成方法 ..... 3
2.3.1. 適用品種 ..... 3
2.3.2. 試験条件 ..... 4
2.4. 分析方法 ..... 4
2.4.1. 芝草の育成状況観察 ..... 4
2.4.2. 放射能濃度の分析 ..... 5
2.4.3. 放射性セシウムの存在形態分析 ..... 7
3. 結果と考察 ..... 8
3.1. 試験サイトの放射能濃度分布と放射性セシウムの存在形態 ..... 8
3.2. 芝草の育成状況 ..... 14
3.3. 芝草を用いた除染効果とその適用性 ..... 20
3.3.1. 芝草への吸収による除染 ..... 20
3.3.2. 芝草の剥ぎ取りによる除染 ..... 24
4. まとめ ..... 25
謝辞 ..... 26
参考文献 ..... 26

付録 1 試験サイトの特徴及び試験前の状況について ..... 31
付録 2 適用品種について ..... 33
付録 3 芝地造成方法について ..... 40
付録 4 除染効果の評価方法について ..... 52
付録 5 農地におけるフォールアウト放射性セシウムの存在形態の分析方法について ..... 57
付録 6 試験サイトの放射能濃度深度分布（データ）について ..... 61
付録 7 農地におけるフォールアウト放射性セシウムの存在形態分析結果 ..... 65
付録 8 芝草の生育状況に係るデータ ..... 66
付録 9 芝草への吸収による除染効果データ ..... 85
付録 10 芝草の成長及び除染効果に係る統計解析結果 ..... 101
付録 11 土壌中及び芝草を用いた除染に係る廃棄物中の放射性セシウム濃度について ..... 107

付録 12　芝草の剥ぎ取りによる除染効果データ ..... 109
付録 13　芝草の剥ぎ取りによる除染の工数について ..... 111
付録 14　試験後の芝草の扱いについて ..... 115
付録 15　試験の現地工程表 ..... 117
付録 16　その他試験時に取得したデータ ..... 118

Contents

1. Introduction 1
2. Method 1
2.1 Experimental sites 1
2.2 Outline of the experiment 2
2.3 Establishment of lawn field 3
2.3.1 Applied spices 3
2.3.2 Experimental conditions 4
2.4 Analytical method 4
2.4.1 Field observation 4
2.4.2 Determination of radioactivity concentration 5
2.4.3 Determination of radioactive cesium speciation 7
3. Results and discussion 8
3.1 Distribution of radioactivity concentration and speciation of radioactive cesium at the site 8
3.2 Field observation 14
3.3 Effectiveness of decontamination using lawn grass and its applicability 20
3.3.1 Decontamination effectiveness of radioactive cesium by plant uptake 20
3.3.2 Decontamination effectiveness of radioactive cesium by sod removing 24
4. Summary 25
Acknowledgement 26
Reference 26

Appendix 1 Site description 31
Appendix 2 Applied species 33
Appendix 3 Method of lawn field establishment 40
Appendix 4 Evaluation method of decontamination effectiveness 52
Appendix 5 Analytical method of speciation of fallout radioactive cesium 57
Appendix 6 Data of Distribution of radioactivity concentration 61
Appendix 7 Analytical results of speciation of fallout radioactive cesium 65
Appendix 8 Data of field observation 66
Appendix 9 Data of decontamination effectiveness of radioactive cesium by plant uptake

85
Appendix 10 Statistical analysis results of plant growth and decontamination effectiveness 101
Appendix 11 Radioactivity concentration of waste after decontamination activity using lawn grass 107
Appendix 12 Data of decontamination effectiveness of radioactive cesium by sod removing 109
Appendix 13 Reference man-hours of decontamination by sod removing 111
Appendix 14 Management of experiment waste 115
Appendix 15 Schedule of the experiment 117
Appendix 16 Other data 118

図目次

図 2.1　試験場所の位置 ..... 2
図 2.2　芝草への吸収による除染の概念図 ..... 3
図 2.3　芝草の剥ぎ取りによる除染の概念図 ..... 3
図 2.4　ホールカッターによる試料採取 ..... 6
図 2.5　ソッドカッターによる試料採取 ..... 6
図 2.6　逐次抽出における抽出試薬と条件 ..... 7
図 3.1　土壌の放射能濃度（サイト 1　畑地　5 月 19 日採取） ..... 9
図 3.2　土壌の放射能濃度（サイト 2　畑地　5 月 19 日採取） ..... 10
図 3.3　土壌の放射能濃度（サイト 2　田地　5 月 19 日採取） ..... 10
図 3.4　土壌の放射能濃度（サイト 3　畑地　5 月 19 日採取） ..... 11
図 3.5　土壌の放射能濃度（サイト 3　田地　5 月 19 日採取） ..... 12
図 3.6　土壌の放射能濃度（サイト 3　田地　8 月 29 日採取） ..... 12
図 3.7　放射性セシウムの存在形態分析結果 ..... 14
図 3.8　芝草の植被率の経時変化 ..... 16
図 3.9　全植物の植被率の経時変化 ..... 17
図 3.10　芝草の草高の経時変化 ..... 18
図 3.11　サイト周辺における降水量の変化（サイト 1 周辺；双葉郡浪江町下津島） ..... 19
図 3.12　サイト周辺における降水量の変化（サイト 2 及び 3 周辺；南相馬市原町区） ..... 19
図 3.13　サイト周辺の気温変化（サイト 1 周辺；相馬郡飯舘村草野） ..... 20
図 3.14　サイト周辺の気温変化（サイト 2 及び 3 周辺；相馬市成田） ..... 20
図 3.15　芝草への吸収による除染効果 ..... 21
図 3.16　除染効果と芝草の成長をパラメータとした時のデンドログラム ..... 22
図 3.17　芝草の剥ぎ取りによる除染効果 ..... 24

表目次

表 2.1　各試験サイトにおける試験条件 ..... 4

著者名一覧

<table>
<tr><th>氏名</th><th>所属組織</th><th>担当項目</th></tr>
<tr><td>時澤　孝之</td><td>福島技術本部<br>福島環境安全センター</td><td rowspan="6">全体総括</td></tr>
<tr><td>長濱　洋次</td><td>人形峠環境技術センター<br>計画管理室</td></tr>
<tr><td>青木　勝巳 1)</td><td rowspan="4">人形峠環境技術センター<br>環境保全技術開発部</td></tr>
<tr><td>菅田　信博</td></tr>
<tr><td>大天　正樹</td></tr>
<tr><td>齊藤　宏</td></tr>
<tr><td>佐藤　和彦</td><td>人形峠環境技術センター<br>計画管理室</td><td>第 2 章、第 3.2、3.3 章</td></tr>
<tr><td>田中　忠夫</td><td>安全研究センター<br>サイクル施設等安全研究ユニット<br>廃棄物安全研究グループ</td><td rowspan="3">第 2 章、第 3.1、3.3 章</td></tr>
<tr><td>加藤　智子</td><td>地層処分研究開発部門<br>地層処分基盤研究開発ユニット<br>システム性能研究グループ</td></tr>
<tr><td>武部　愼一</td><td>バックエンド推進部門<br>バックエンド推進室</td></tr>
</table>

1）現在　バックエンド推進部門　バックエンド推進室

# 1. 序論

東京電力福島第一原子力発電所の事故に起因した放射性物質による土壌汚染対策が進められている。特に、生活圏の汚染除去（除染）が喫緊の課題となっており、対象地域の汚染状況や対象物の特性に適した除染が求められている。これまでにチェルノブイリ事故や有害物質の土壌汚染の経験を参考にして様々な除染技術が検討されてきている。その一つの手法として、植物を用いた除染手法（ファイトレメディエーション）がある。この手法は、植物の育成に時間を要するものの、広範囲で経済的かつ管理が簡便であるという特徴がある。

これまでに得られた知見や既往の報告によれば、放射性物質は農地土壌の比較的浅いところに多く留まっている傾向にあると考えられる。そこで、農地の表層にほふく性のイネ科植物を用いた芝地を形成させることで、汚染された土壌粒子の飛散を抑制すると共に芝草の根圏と表層土とを共に剥ぎ取ることができれば、効率の良い放射性物質の除去につながることが期待される。

本試験では、放射性物質による汚染が確認されている農地を対象に短期間での芝地の造成を行うための品種と施工方法の適性評価、芝草を利用することによって可能な放射性物質の除染効果について試験を行う。

# 2. 試験方法

## 2.1. 試験場所

試験は、福島県双葉郡浪江町の 1 ヶ所（計画的避難区域）と南相馬市の 2 ヶ所（うち、1 ヶ所は緊急時避難準備区域）の合計 3 ヶ所で実施した。各試験場所の位置を図 2.1 に示す。浪江町の試験サイト（サイト 1）では黒ボク土や褐色森林土が、南相馬市の試験サイト（サイト 2 及び 3）では灰色低地土が分布しているが、ともに表層付近は壌質～粘質である[1]。その他の地形、地質及び土壌に係る情報、並びに試験前の状況については付録 1 を参照。なお、サイト 1 では畑地を、サイト 2 及び 3 では田地で試験を行っている。

朝日新聞（2011 年 4 月 12 日朝刊社会面）をもとに作成

図 2.1　試験場所の位置

注：試験中の区域区分を示している。緊急時避難準備区域は、2011 年 9 月 30 日をもって一括解除されている。

## 2.2.　試験の概要

ファイトレメディエーションは、有害な物質や放射性物質によって汚染された土壌の修復方法の一つである。吉原ほか（2000）[2]では、ファイトレメディエーションでは、植物の機能のうち大きく以下の 4 つの機能を利用することができるとしている。

①植物（特に、地上部の採取可能な部位）に吸着・蓄積させること（Phytoextraction）

②酵素などを放出して分解・解毒すること（Phytotrans-formation）

③ある物質を出して根圏の土壌に無害な（移動しにくい）形で固定すること（Phytostabilitation）

④ある物質を出して根圏の微生物を活性化してその働きで分解・解毒すること（Phytostimulation）

このうち、放射性物質の除去に利用できる機能は主に①が考えられているが、③の応用的なものとして、植物とともに土壌を剥ぎ取り、根圏の土壌中に含まれている放射性物質を取り除くことも考えられる。

事前の調査では、放射性物質による汚染が確認されている農地では、比較的浅いところに多く留まっている傾向にあり、土壌への沈着後数か月以降では Cs-134 及び Cs-137（以下、特に核種名を示さない限り、両者を合わせて「放射性セシウム」という）が土壌中に残存するものと想定された。

また、計画的避難区域では、農業や牧畜業を営む地域が多く、牧草やイネなどイネ科の植物が多く分布している。

そこで、植物の生育しやすさ、生育密度及び根の侵入深さ（根域深度）の点から表層近くの汚染の除去及び除染後のグランドカバーとして有効と想定されることから、芝草（イネ科）を用いた放射性セシウムのファイトレメディエーションの適用性を検討することとした。なお、この試験では、芝草への吸収による除染と芝草の剥ぎ取りによる除染の 2 つの方法により検討することとした（図 2.2 及び図 2.3）。

図 2.2　芝草への吸収による除染の概念図

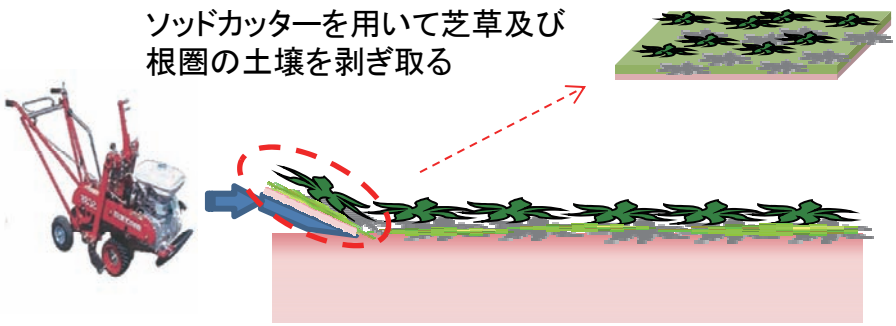



図 2.3　芝草の剥ぎ取りによる除染の概念図

## 2.3.　芝地造成方法

### 2.3.1.　適用品種

日本で一般的に利用されている芝草は、日本芝（暖地型芝草）及び西洋芝（暖地型及び寒地型芝草）である。芝張り施工を行う初夏を考慮し、今回の試験では比較的高い温度に耐性を有する暖地型芝草の品種を選定した。また、セシウムと化学的な特徴が類似するナトリウムを取り込みやすい芝草も選定した。選定した芝草の品種を以下に示す。なお、それぞれの品種の特徴についは、付録 2 を参照のこと。

西洋芝（暖地型芝草）：バミューダグラス、ティフトン（*Cynodon dactylon*）
日本芝（暖地型芝草）：ノシバ（*Zoysia japonica*）
その他　　：パスパラム（*Pasupalum vaginatum*）

### 2.3.2. 試験条件

田地では表層の凹凸（不陸）が大きい場合があり、試験後の芝草の剥ぎ取り作業においてソッドカッターを用いることが難しくなることも懸念された。そこで、不陸の大きな田地では、複数の施工方法（播種工法、ストロン播き工法、ゴーローン工法、張り芝工法（付録 3)）に転圧・整地を行うケースと行わないケースを設定した。一方、不陸が比較的少ない畑地では、施工性が良く、早期のターフ形成が期待できる施工法（ゴーローン工法）を用いることとし、放射性セシウムの挙動に影響を与えるとされる施肥条件を変えた試験区を設定した。各試験区の大きさはソッドカッターによる剥ぎ取り作業を行うことを想定して 1m×5mとした。各サイトと施工方法の関係を表 2.1 に示す。

表 2.1　各試験サイトにおける試験条件

サイト1（浪江町・計画的避難区域）

| 項目 | | 試験区 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 施工方法 | ストロン苗（ゴーローン） | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 芝草の品種 | ノシバ | ● | | | ● | | |
| | ティフトン | | ● | | | ● | |
| | パスパラム（塩性芝草） | | | ● | | | ● |
| 施肥 | 無施肥区 | ● | ● | ● | | | |
| | 施肥区 | | | | ● | ● | ● |

サイト2，3（南相馬市・緊急時避難準備区域）

| 項目 | | 試験区 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 転圧・整地（不陸対策） | なし | ● | ● | ● | ● | | | | |
| | あり | | | | | ● | ● | ● | ● |
| 施工方法 | 播種工 | ● | ● | | | | | | |
| | ストロン苗（手播き） | | | ● | ● | | | | |
| | ストロン苗（ゴーローン） | | | | | ● | ● | | |
| | 張り芝 | | | | | | | ● | ● |
| 芝草の品種 | バーミューダグラス | ● | | | | | | | |
| | ノシバ | | ● | ● | | ● | | ● | |
| | ティフトン | | | | ● | | ● | | ● |

## 2.4. 分析方法

### 2.4.1. 芝草の育成状況観察

芝草の育成状況として、全てのサイトに共通して下記の項目を 2 週間に 1 回の割合で観察・記録した。

・一般的事項：病害虫発生の有無、雑草繁殖状況
・植被率（芝草、全植物）の目視判定
・芝草の草高（地表面から最高部までの長さ）測定（代表部を対象に最低 5 点）
・生育状況に基づいた肥料追加、農薬処理の必要性などの判断
・地表付近及び 1m 高における線量当量率測定

### 2.4.2. 放射能濃度の分析

放射能濃度の分析として、各サイトの土壌中の放射能濃度の深度分布の測定と除染効果を評価するために行った。

土壌中の放射能濃度の深度分布の測定用土壌試料は、文部科学省の「環境試料採取法」[3]を参照し、土壌採取器を用いて採取した。この試料を表層から 1cm 間隔で切断し、Ge 検出器を用いて I-131、Cs-134 及び Cs-137 の放射能濃度を所定の方法で測定した。

除染効果の評価用試料は、土壌及び芝草を一緒に試験後に採取した。芝草への吸収による除染効果評価用の試料は、畑地及び田地の不陸などによるばらつきを把握できるように、それぞれの試験条件（品種、施工方法など）毎に 3 ヶ所ずつホールカッター（図 2.4）で採取した。土壌と芝草は現地で分離し、芝草は現地にて洗浄した。一方、芝草の剥ぎ取りによる除染効果評価用の試料は、芝草の剥ぎ取りが実際の活動に即したものとなるよう、芝草の剥ぎ取りで一般的に使われているソッドカッター（図 2.5）を用いて面的に採取した。ソッドカッターの切り出し深さは、根圏の発達を考慮して約 10cm を目安とした。剥ぎ取った芝草のマットの任意の 3 ヶ所から土壌及び芝草を一緒に抜き取るとともに、同じ場所のさらに深さ 3cm までの土壌試料（3 ヶ所）を採取した。これら土壌及び芝草の放射能濃度については、Ge 検出器により放射性セシウム濃度を所定の方法で測定した。芝草への吸収による除染効果及び芝草の剥ぎ取りによる除染効果の評価に用いる試料の採取方法、除染効果の計算方法については、付録 4 に示している。

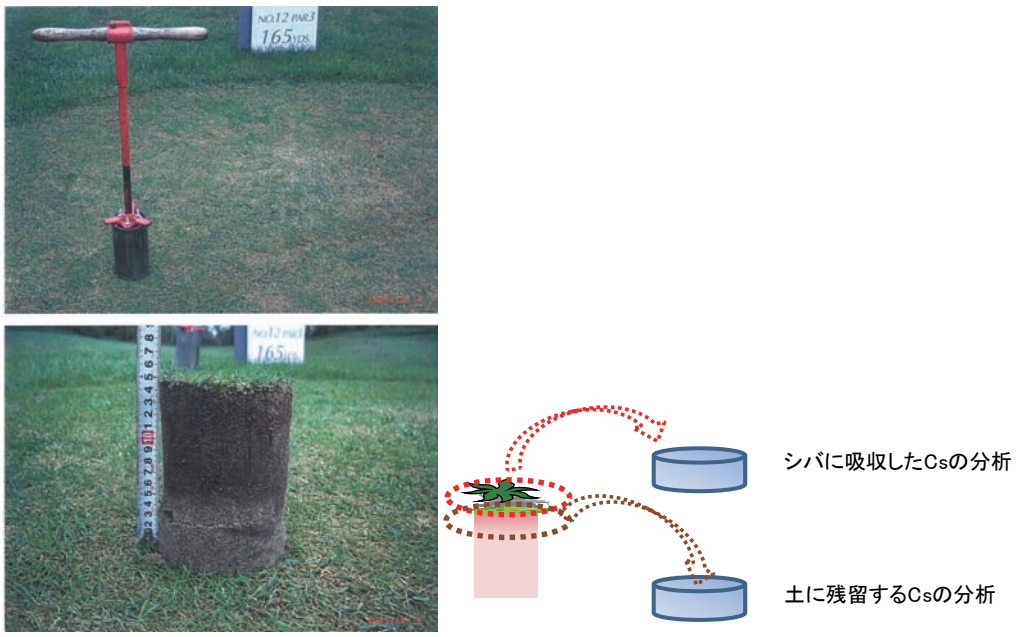



図 2.4　ホールカッターによる試料採取

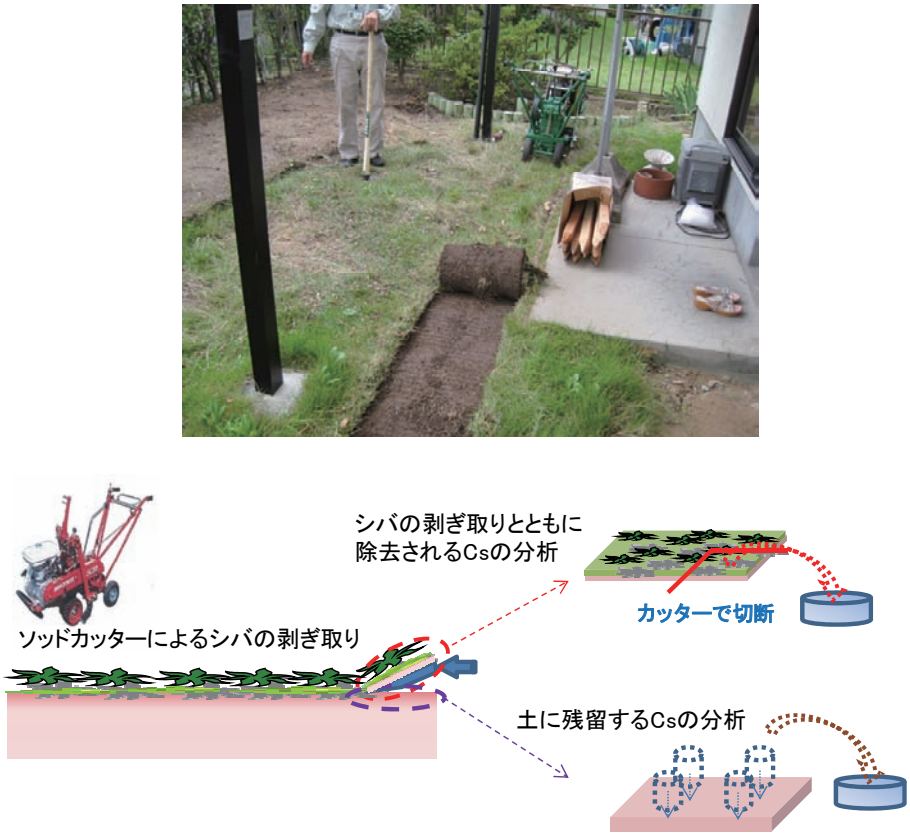



図 2.5　ソッドカッターによる試料採取

### 2.4.3. 放射性セシウムの存在形態分析

サイト 1 の畑地から採取した土壌中の放射性セシウムの存在形態を把握するために、以下の逐次抽出法による分析を行った（付録 5）。

逐次抽出は、土壌試料 3.0g を脱イオン水及び 4 種類の試薬 10 $cm^3$ と下記の手順で順次接触させて行った。抽出試薬と条件を図 2.6 に示す。抽出したセシウムの再分配を避けるため、カリウム塩試薬を使用した。抽出液は 3,000 rpm、10 分の遠心分離操作で土壌と分離した後、Ge 半導体検出器で Cs-137（ピークエネルギー：662 eV）を分析した。

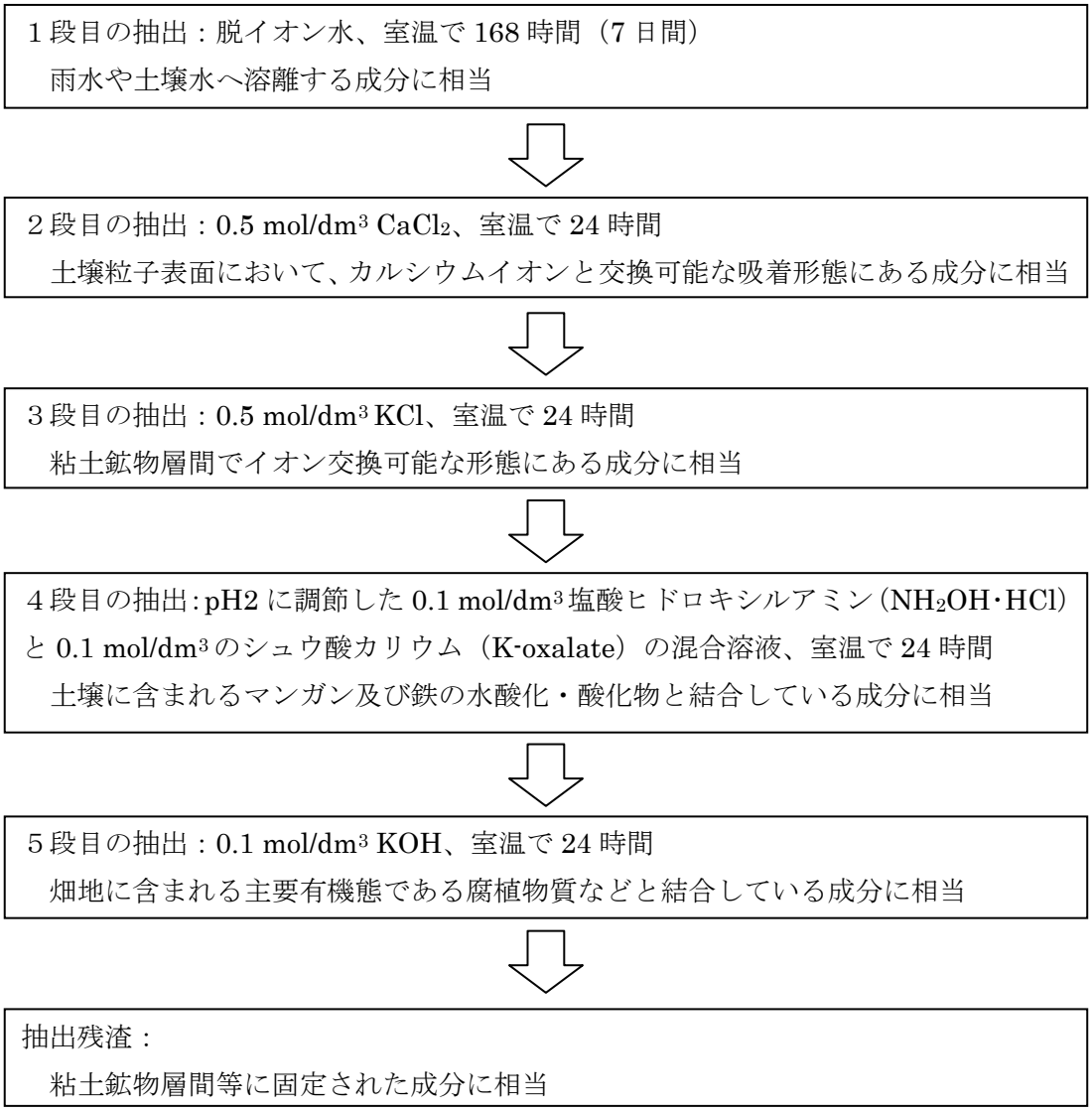



図 2.6　逐次抽出における抽出試薬と条件

# 3. 結果と考察

## 3.1. 試験サイトの放射能濃度分布と放射性セシウムの存在形態

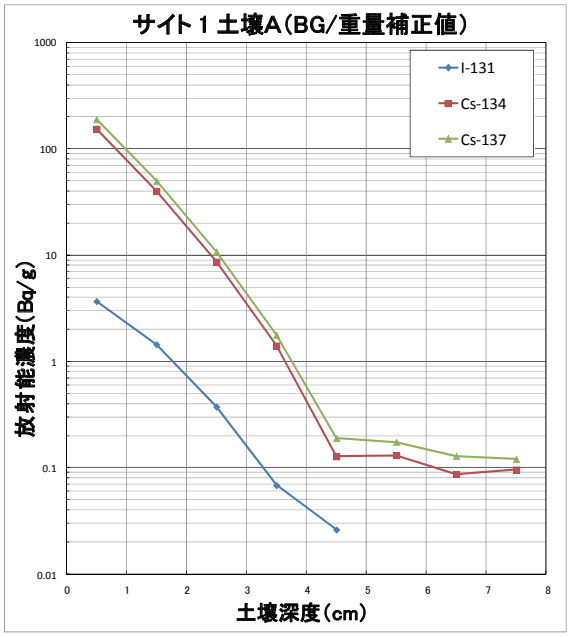
各サイトで採取した土壌試料の放射能濃度分析結果を図 3.1～3.6 及び付録 6 に示す。全てのサイトで 2011 年 5 月 19 日に試料を採取したが、サイト 3 の田地については、2011 年 8 月 29 日にも採取した。先ず、2011 年 5 月 19 日に各サイトの田地、畑地の計 5 カ所からおのおの 1 点採取した土壌試料は、1cm に切断した後、湿潤状態のまま直ちに放射能濃度を分析した。芝地造成に供した、サイト 1 の畑地、サイト 2 の田地及びサイト 3 の田地の計 3 カ所については、おのおの複数点（サイト 1 が 3 点、サイト 2 と 3 が 2 点）で採取した土壌試料を風乾したうえ、9 月の時点での放射能濃度を分析した。また、サイト 2 及び 3 では、芝地造成を行った田地の他に畑地でも採取し、分析している。

サイト 1 では、土壌表面（深さ 1cm）の Cs-134 及び Cs-137 とも数百 Bq/g のオーダと非常に高いが、深さ約 5cm より深いところでは急激に減少して、約 3 桁の濃度低下が観察される。また、5 月の時点では測定されていた I-131 が 9 月の測定時点で検出されなくなっている。また、サイト 1 の畑地は非常に平坦であり、9 月の測定において 3 点における深度分布パターンは概ね同じであることから、畑地全体がほぼ均一に汚染しているものと推察される。

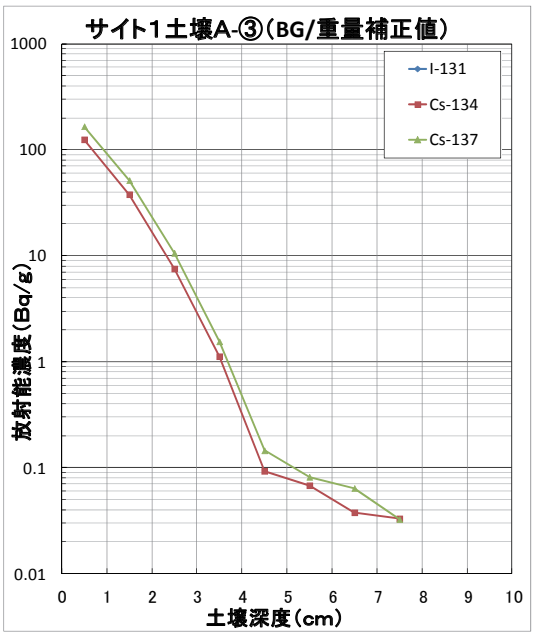
一方、サイト 2 及び 3 においては、土壌表面の Cs-134 及び Cs-137 濃度がサイト 1 より 1 桁程度低い傾向にある。I-131 については、サイト 1 と同様、9 月の時点では検出されなくなっている。

また、5 月と 8 月に時期を変えて採取したサイト 3 の田地の Cs-134 及び Cs-137 濃度の深度分布のパターンは、顕著に変化していないことが分かる。ただし、サイト 2、サイト 3 の田地は、放射性物質の飛散を受ける前に、1 度耕作機で鋤いていたため、表面は平坦ではなく、稲株が不規則に混在している状態であった。そのため、正確に田地の表面を規定することができず、表面には 5～10cm の凹凸があることを考慮しておく必要がある。したがって、芝地造成に供したサイト 2 の田地及びサイト 3 の田地については、各点ごとに必然的な深度分布のばらつきがあると考えるべきである。また、5 月に採取したサイト 2 及び 3 の畑地は、表面が硬化し、ひび割れが発生していた。ここでのデータの様に、地表数センチまで浸透している様子が見られることから、田地に比較的近いところであっても、表面状態によっては均質に移行抑制が進んでいないことも伺われる。

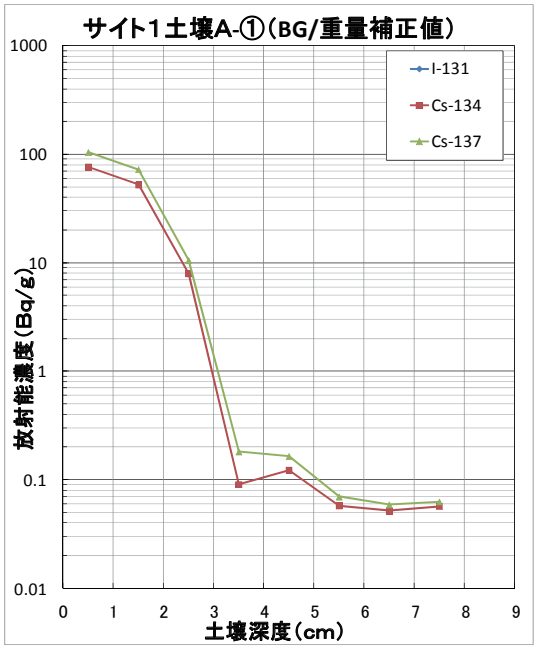
以上のことから、濃度の深度分布測定及び実際の除染では、点としての評価のみではなく面的な広がりを考慮することも重要であると考えられる。

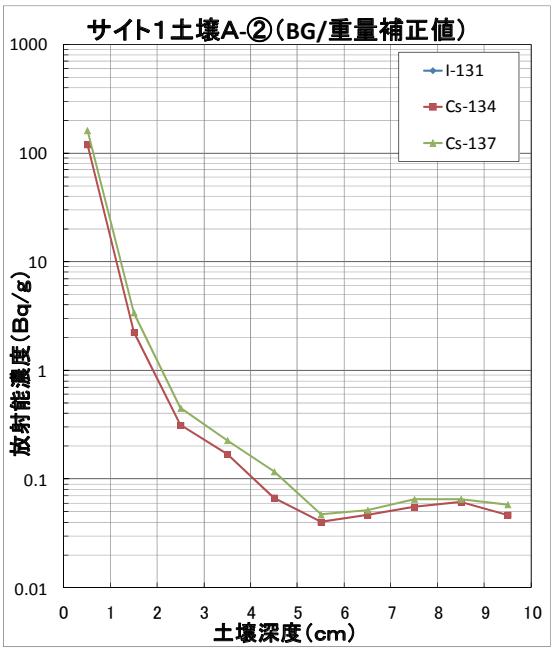



試料採取後直ちに測定




風乾後、9 月に測定




風乾後、9 月に測定

図 3.1　土壌の放射能濃度（サイト１　畑地　5 月 19 日採取）

注：測定は、試料採取直後と風乾してから後日実施している

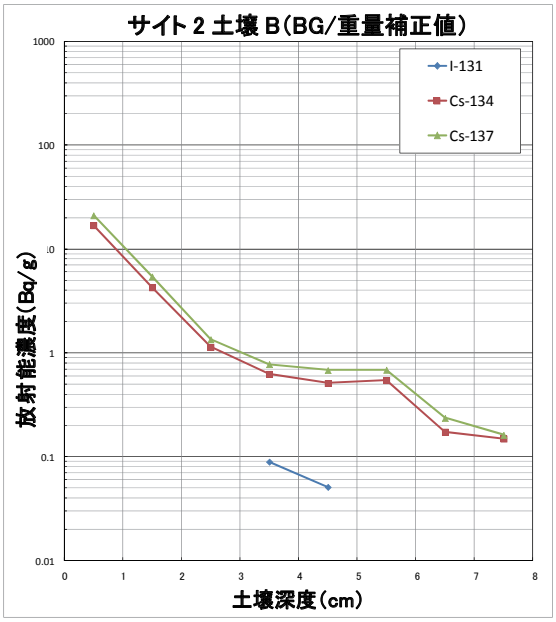
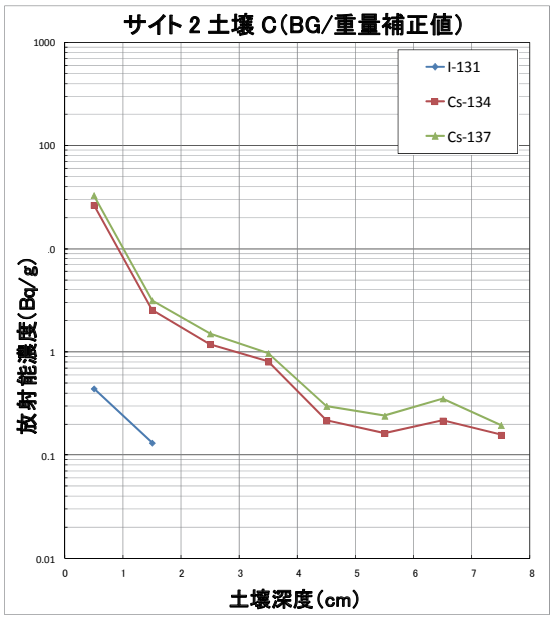



図 3.2　土壌の放射能濃度（サイト 2　畑地　5 月 19 日採取）

注 1：測定は、試料採取後直ちに実施している。

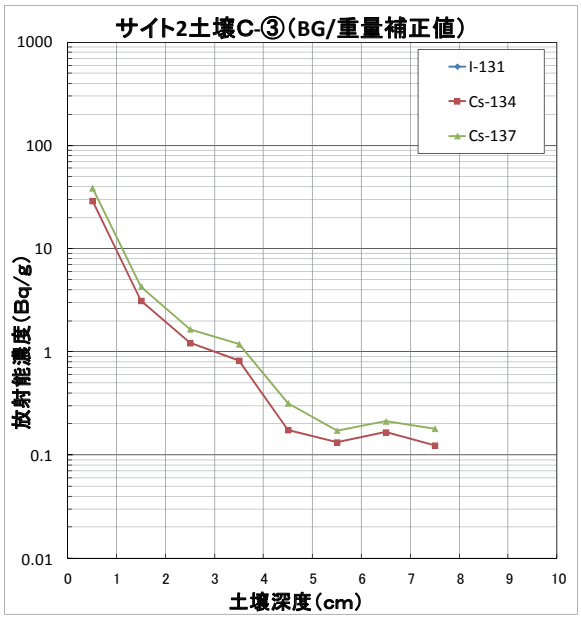
注 2 芝地造成は田地で行っており、畑地は参考情報として示している。

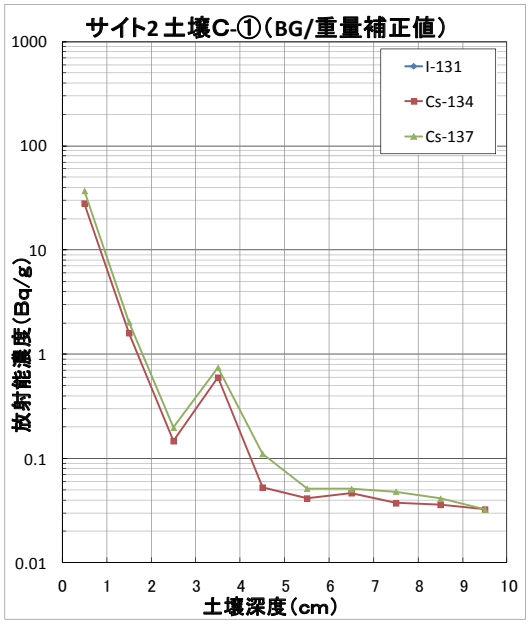



試料採取後直ちに測定

図 3.3　土壌の放射能濃度（サイト 2　田地　5 月 19 日採取）

注：測定は、試料採取直後と及び風乾してから後日実施している。




風乾後、9 月に測定

図 3.3　土壌の放射能濃度（サイト 2　田地　5 月 19 日採取）つづき

注：測定は、試料採取直後と及び風乾してから後日実施している。

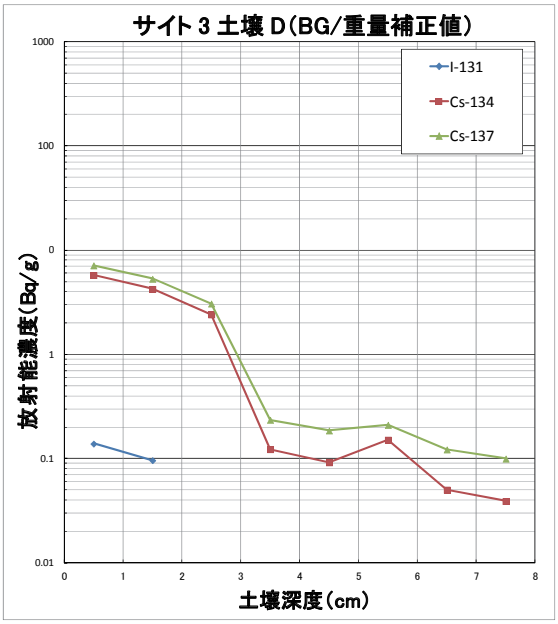
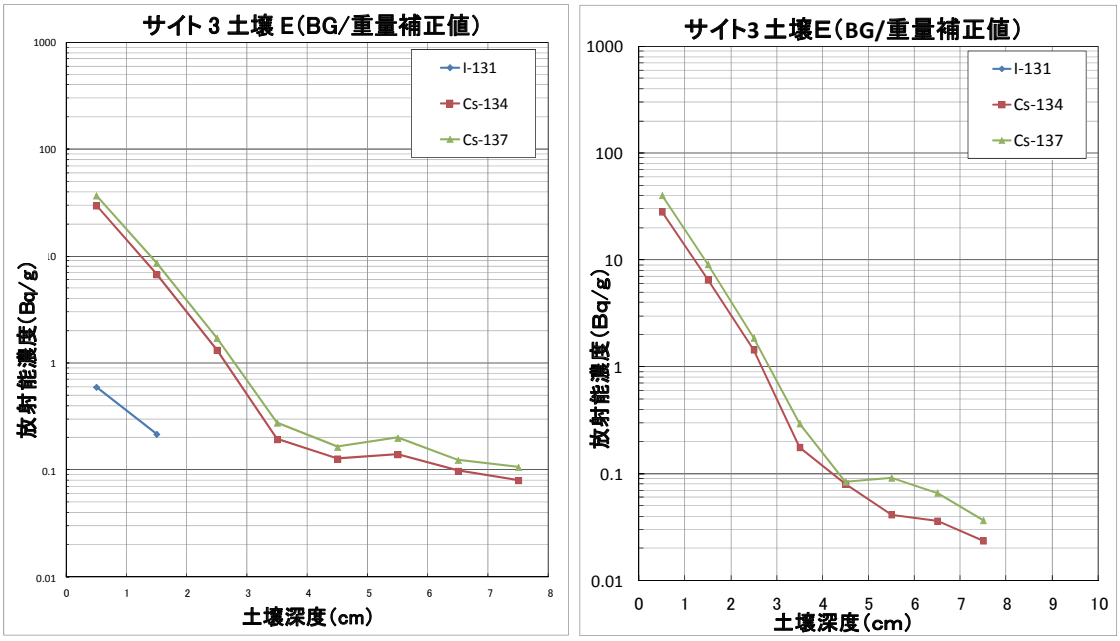



図 3.4　土壌の放射能濃度（サイト 3　畑地　5 月 19 日採取）

注 1：測定は、試料採取後直ちに実施している。

注 2 芝地造成は田地で行っており、畑地は参考情報として示している。




試料採取後直ちに測定　　風乾後、9 月に測定

図 3.5　土壌の放射能濃度（サイト 3　田地　5 月 19 日採取）

注：測定は、試料採取直後と風乾してから後日実施している。

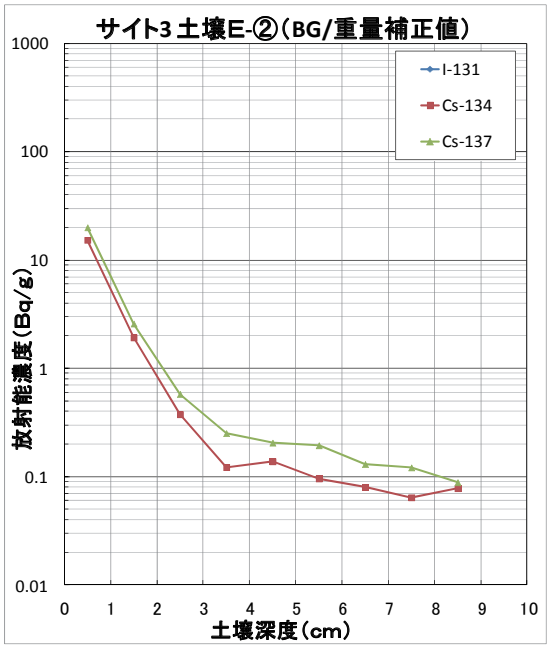



図 3.6　土壌の放射能濃度（サイト 3　田地　8 月 29 日採取）

注：測定は、8 月末に採取した後、風乾し 9 月に実施している。

一方、放射性セシウムの存在形態については、2011 年 10 月 13 日にサイト 1 の畑地表面（0～3cm）で採取した土壌試料を用いた。なお、この試料の放射性セシウム濃度は、Cs-134 で約 80Bq/g、Cs-137 で約 100Bq/g である。

各段階で抽出される放射性セシウムの割合を図 3.7 及び付属 7 に示す。土壌に降下した放射性セシウムは粘土鉱物層間に取り込まれ、その相当量がカリウムイオンで交換されることが期待されたが、逐次抽出の結果では KCl 溶液で 7 %しか抽出されず、$NH_2OH \cdot HCl$＋K-oxalate と KOH によって抽出されるフラクションを含めても 10 %程度に留まった。抽出残渣には 87 %の放射性セシウムが残っており、フォールアウト放射性セシウムのほとんどは土壌に固定された形態にあることがわかる。自然環境にある放射性セシウムは、時間の経過とともに脱離と吸着を繰り返し、その結果、KCl 等で抽出可能なセシウムフラクションについても、今後徐々に固定されていくことが想定される。

自然環境の土壌中では、雨水により放射性セシウムが下方へ移行することが想定される。しかし、土壌水に溶離することが期待される脱イオン水及び $CaCl_2$ 抽出フラクションは 1 %程度しか存在しない。当該抽出実験結果からは、雨水の浸透による放射性セシウムの移行はほとんど起こらないと判断される。土壌試料を採取した畑地においては、試料を採取した地表から 3 cm より下層では放射性セシウムは有意に検出されず、3 月に土壌表面に沈着して以降、雨水による放射性セシウムの移行は 7 ヶ月間ほとんど起こっていなかった。

一方、粘土鉱物等に固定された放射性セシウムの一部がコロイド状粒子として、雨水とともに下方へ移行することは十分考えられる。しかし、コロイド状粒子の生成と移行が繰り返し起こり、除染を必要とするような有意な放射性セシウムを下方へと送り込むことを可能とする条件は特殊であり、一般的な土壌については、コロイド状粒子としての放射性セシウムの下方への移行は、除染の観点からは無視できる量にすぎないと考えられる。

以上の検討結果に基づき一般的土壌について言及すると、フォールアウト放射性セシウムは土壌水に溶離しにくい形態で土壌に吸着し、表層に留まったままで、深部へ移行することは考えにくい。したがって、表層に留まらず、表面から数 cm 以深まで放射性セシウムが浸透しているとすれば、その深度までの何らかの物理的擾乱が起こったか、あるいは植物等の異物を介した浸透が起こった可能性が挙げられる（例えば、稲わらの茎を通って株の深さまで放射性セシウムが浸透するなど）。

本検討等は、有機物に富む畑地土壌を対象とした結果であるが、砂地、岩石等を対象とした実験結果でも同様な知見が得られている（図 3.7）。

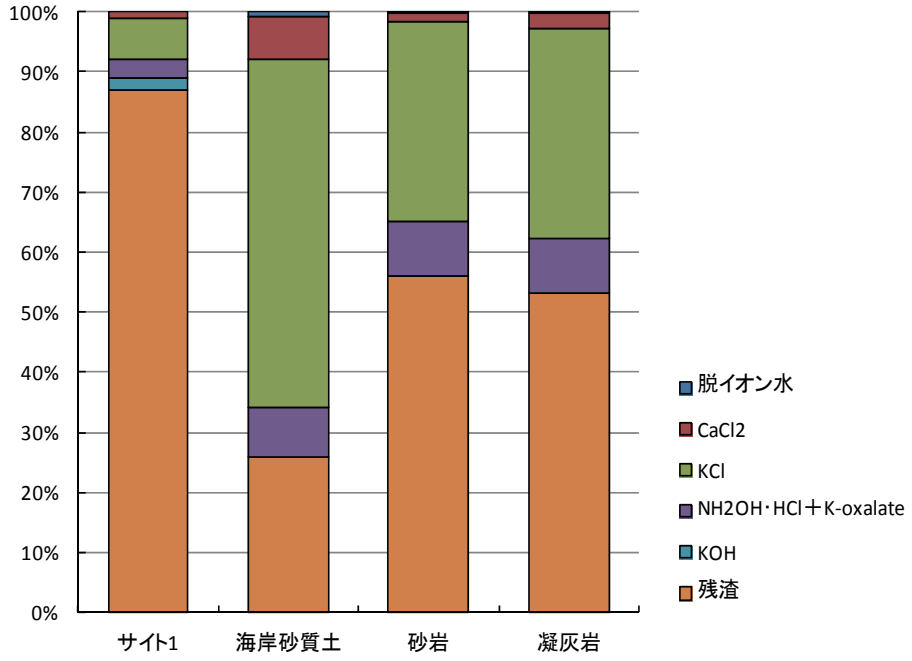



図 3.7　放射性セシウムの存在形態分析結果

### 3.2.　芝草の育成状況

芝草及び全植物の植被率、並びに芝草の草高（cm）の経時変化をそれぞれ図 3.8～3.10 及び付録 8 に示す。なお、植被率は目視判定で行い、草高は自然の状態での地表面から上部までの高さを測定している(注)。

注：草高に対して、植物の茎葉をまっすぐに立てた状態での地表から最上部までの高さを草丈と言う[4]。

サイト 1 では、ティフトンが時間とともに植被率が増加し、約 2 ヶ月で 9 割以上となった。一方、ノシバ及びパスパラムは生育状況が悪い。ノシバは初期繁殖力が他の品種と比べて良くないことが知られており[5]、施工時の悪条件（降雨が無く、比較的高い気温で推移した）の影響を大きく受けたことが分かる（図 3.8 及び図 3.11～3.14）。なお、全植物の植被率（図 3.9）で分かるように、サイト 1 で雑草の繁茂が顕著であり、ノシバ及びパスパラムは雑草の繁殖についていくことができない傾向が見られた。このティフトンと、ノシバ及びパスパラムの成長の違いについては、草高のデータでも同様の傾向がみられる（図 3.10）。なお、全植物の植被率及び芝草の草高において、試験初期の急激な伸びに比べて、試験後半では下がってきている傾向が見受けられる。この傾向はサイト 2 及び 3 では顕著でないことから、芝張りの施工時期や施工後の天候条件の他、サイト 1 のみで設定した施肥の有無も関係していることも考えられる。

サイト 2 及び 3 では、一部を除きノシバの手播き、ゴーローン及び張り芝の植被率が良くない（図 3.8）。これは全植物の植被率の情報から雑草の侵入によるものと分かるものも

あるが、苗の状態からの活着、すなわち初期繁殖力が悪いことを示している。これは、サイト 1 でノシバの成長が悪いことと整合する。一方、ノシバであっても播種したものは植被率がいずれも 80%以上と良い。ただし、全てのノシバが枯死せず、芝草の植被率が時間とともに、上昇しているものもあることから、管理を丁寧にするなど条件によっては、ある程度の生育を期待することもできると考えられる。

なお、位置関係や土壌の種類が近いサイト 2 とサイト 3 を比較すると、サイト 2 の芝草及び全植物の植被率、並びに芝草の草高において、成長が良いもので増加率が高い傾向がみられる（図 3.8～3.10）。これにはいくつかの要因が考えられるが，周辺環境の違いによる影響がもっとも大きいと推察された。すなわち、サイト 2 は南東に山が迫っており、日中であってもサイト内が日陰になる時間帯があるのに対し、サイト 3 は周囲が開け、日中に日陰ができる時間帯がない。サイト 3 における土壌の乾燥条件が、サイト 2 より厳しいものであった可能性が想定される。今後、実際の場に適用する場合には、この様な影響も含めて検討することが重要と考えられる。

これらのことから、この様な状況における品種及び施工方法の適用性についてまとめる。まず、ティフトンを含むバミューダグラスは、全てのサイトで旺盛な生育を示し、最も適すると考えられた。これは、乾燥に強くない品種には不利であったためであると考えられる。バミューダグラスは、播種、ストロン播き、ゴーローン及び張り芝のいずれの工法によっても高い活着率を示した。比較的平坦な農地であれば、ティフトン・ゴーローン工法が作業効率も良く、有効な組合せであると判断される。また、比較的不陸が大きい農地に対しては、バミューダグラス・播種工法が有効である。効果を確実にするためには、施工前に転圧整地することが望ましいが、サイト 2 及び 3 で行った様な目土と種子の混合物を未整地の土壌に散布することでもある程度の効果を期待でき、緊急度の高い場所や地形上機器類の搬入が制限される場所等へ適用することが期待される。張り芝工法については、ノシバを除きほぼ完全な芝草の活着が得られるが、ソッド（切り芝）の入手性や施工時の作業（整地、人で及び機械力）を考慮する必要があり、何よりも確実な効果が求められる場所にスポット的に適用することが有効であると考えられる。

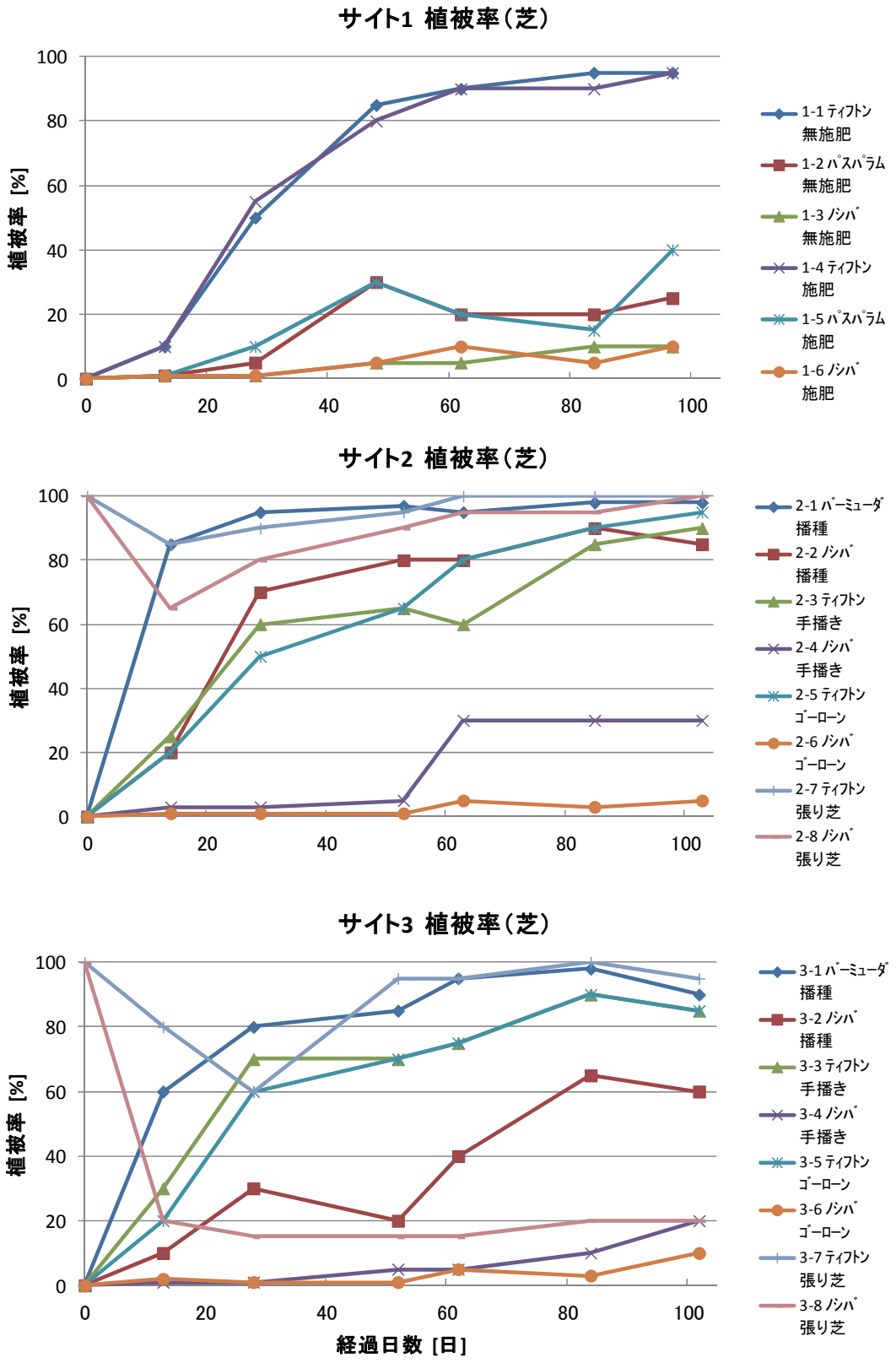



図 3.8　芝草の植被率の経時変化

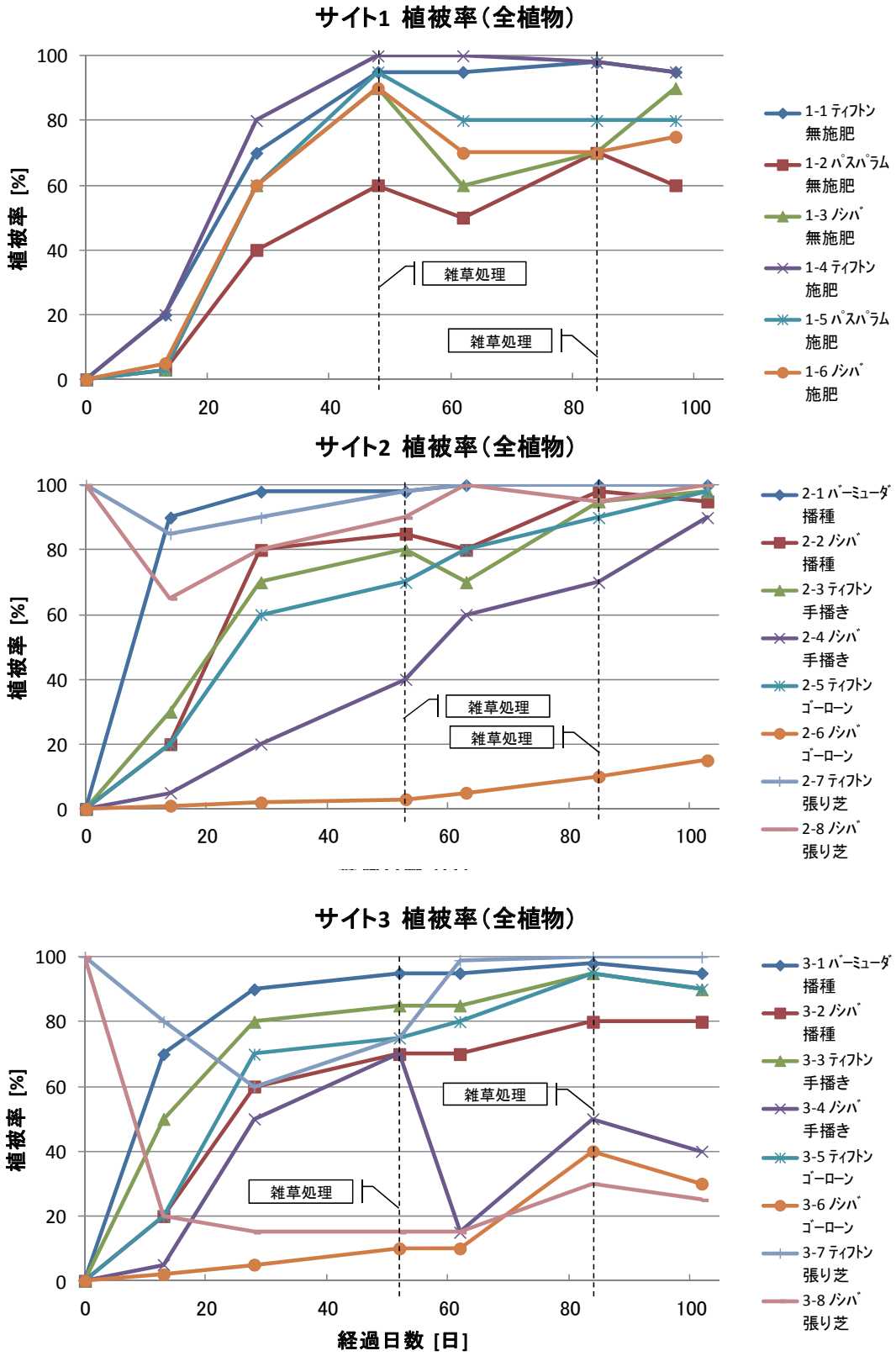



図 3.9　全植物の植被率の経時変化

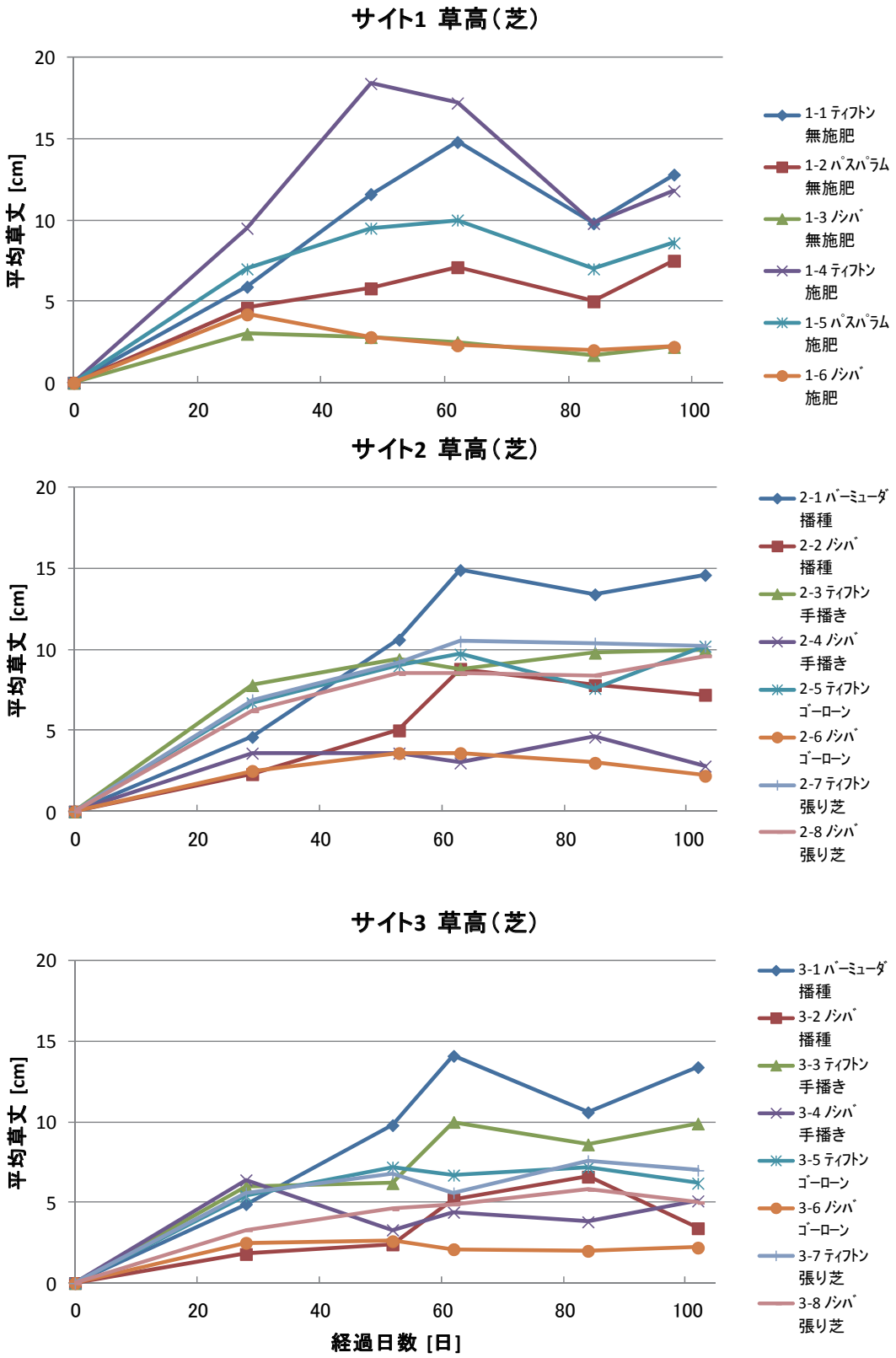



図 3.10　芝草の草高の経時変化

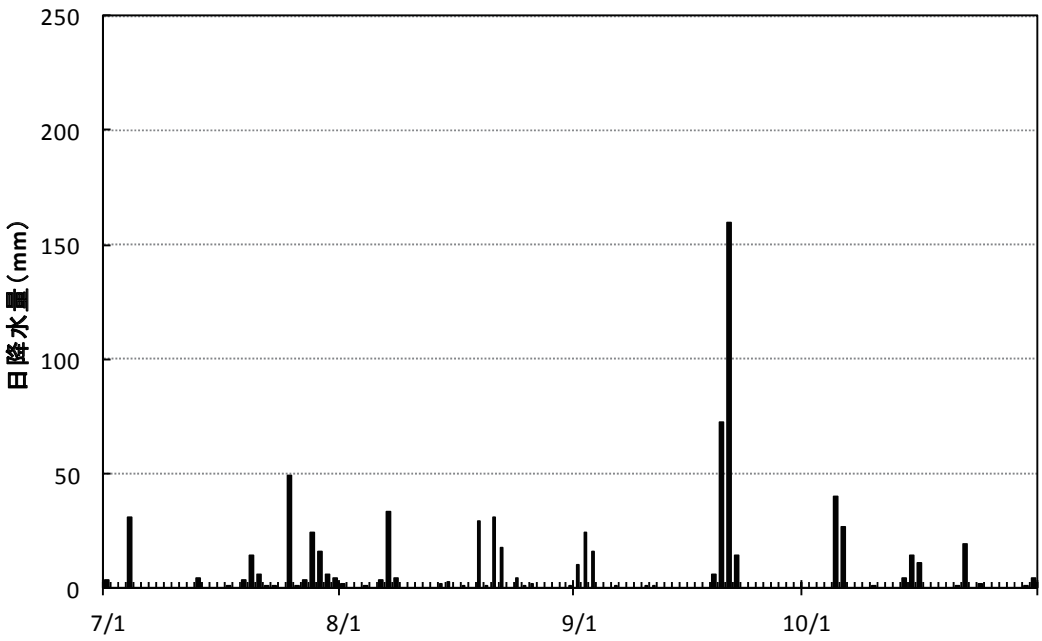



図 3.11　サイト周辺における降水量の変化（サイト 1 周辺；双葉郡浪江町下津島）

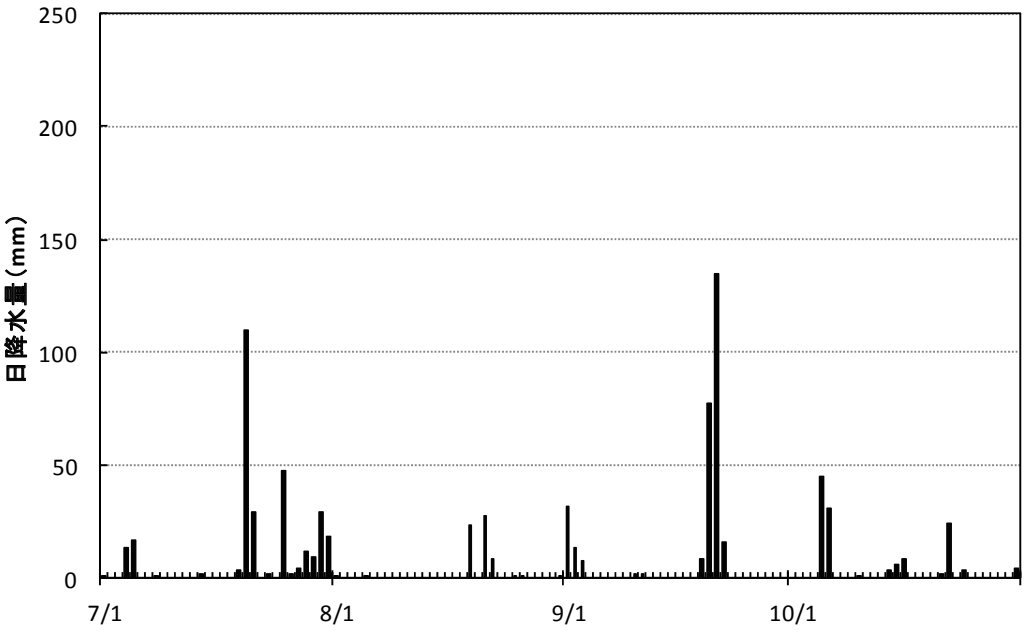



図 3.12　サイト周辺における降水量の変化（サイト 2 及び 3 周辺；南相馬市原町区）

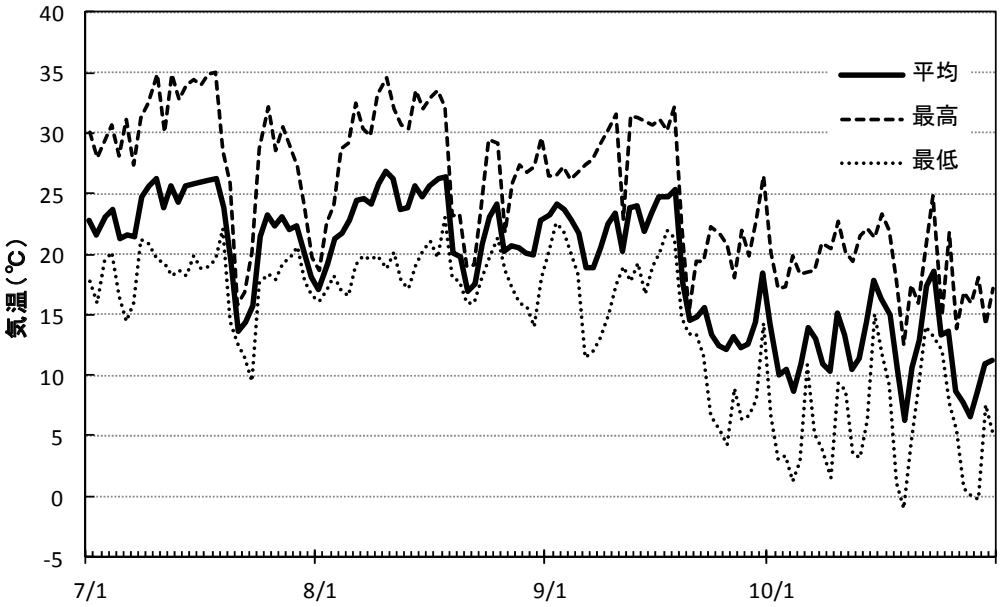



図 3.13　サイト周辺の気温変化（サイト 1 周辺；相馬郡飯舘村草野）

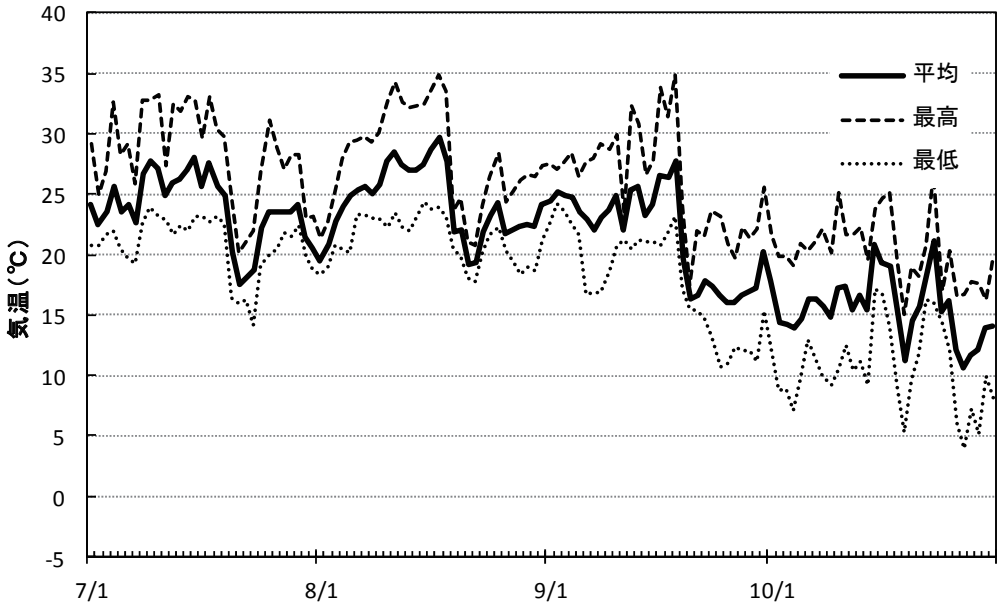



図 3.14　サイト周辺の気温変化（サイト 2 及び 3 周辺；相馬市成田）

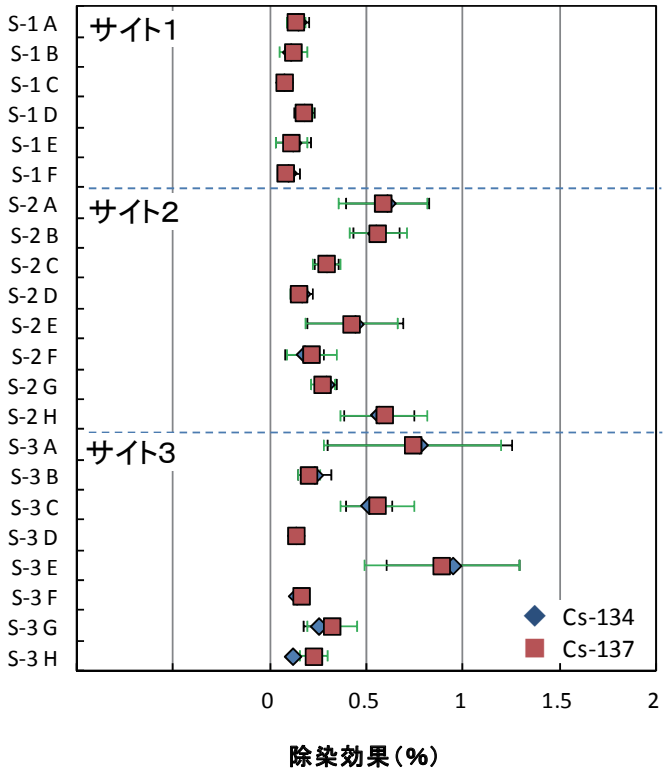
## 3.3.　芝草を用いた除染効果とその適用性

### 3.3.1.　芝草への吸収による除染

試験サイトで得られた芝草への吸収による除染効果を図 3.15 及び付録 9 に示す。ここで、除染効果は、

除染効果（芝草に吸収した Cs の割合）[%]
＝（芝草に吸収した Cs 量[Bq]）
／（芝草に吸収した Cs 量[Bq]＋表土に残留する Cs 量[Bq]）×100

である。なお、Cs は、Cs-134 もしくは Cs-137 を意味している。バミューダグラス及びその改良型であるティフトンに有意な値が見られるものの、除染効果は Cs-134 及び Cs-137 とも 1%未満と概して低い。この値は、移行係数としてみると、$1\times10^{-2}$～$1\times10^{0}$(Bq/kg-plant)/(Bq/kg-soil)のオーダ（植物の重量は新鮮重）となり、スウェーデンやイギリスで報告されている寒地型芝草の移行係数（$1\times10^{-2}$～$1\times10^{0}$(Bq/kg-plant)/(Bq/kg-soil)のオーダ）と同じオーダにある [6, 7]。




| 適用品種 | 施肥状況 | 施工方法1 | 施工方法2 |
|---|---|---|---|
| ティフトン | 無施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| ノシバ | 無施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| パスパラム | 無施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| ティフトン | 施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| ノシバ | 施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| パスパラム | 施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| バミューダ | 無施肥 | 整地なし | 播種 |
| ノシバ | 無施肥 | 整地なし | 播種 |
| ティフトン | 無施肥 | 整地なし | 手播き |
| ノシバ | 無施肥 | 整地なし | 手播き |
| ティフトン | 無施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| ノシバ | 無施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| ティフトン | 無施肥 | 整地あり | 張り芝 |
| ノシバ | 無施肥 | 整地あり | 張り芝 |
| バミューダ | 無施肥 | 整地なし | 播種 |
| ノシバ | 無施肥 | 整地なし | 播種 |
| ティフトン | 無施肥 | 整地なし | 手播き |
| ノシバ | 無施肥 | 整地なし | 手播き |
| ティフトン | 無施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| ノシバ | 無施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| ティフトン | 無施肥 | 整地あり | 張り芝 |
| ノシバ | 無施肥 | 整地あり | 張り芝 |

図 3.15　芝草への吸収による除染効果

これらの除染効果の値の幅は比較的狭い範囲にあるが、平均値の差には有意であるものも見受けられる。また、生理学的な原因は不明であるが、除染効果が 0.3%未満のグループとそれ以上のグループに大きく分かれるように見られる。これは、除染効果、芝草の植被率及び草高をパラメータに取り、クラスター分析を行うと以下の様に明確に分かれることが理解できる（図 3.16、付録 10）。

○ 成長の悪い（植被率が低い）ノシバ、パスパラム

○ それ以外

今回の芝張り施工は 7 月に実施した。バミューダグラスの播種は、春であれば 4～6 月、ノシバやティフトンの芝張り（ゴーローン、張り芝）は、春であれば 3～6 月が適期である[8]。第 3.2 章でも示したように、ノシバは主要な芝草のうち、比較的初期成長が遅い品種であり[5]（付録 2）、芝張り施工の時期が遅かったり、第 3.2 章で示したように試験初期における気象条件が悪かったりしたことから、成長が良くなく、結果として芝草への吸収が悪かった可能性が考えられる。

なお、比較的成長の良いティフトン（サイト 1 のゴーローン、サイト 2 及び 3 の張り芝）であっても、除染効果が悪いものがあったが、その理由は相関関係をみる限り判別できなかった（付録 10）。

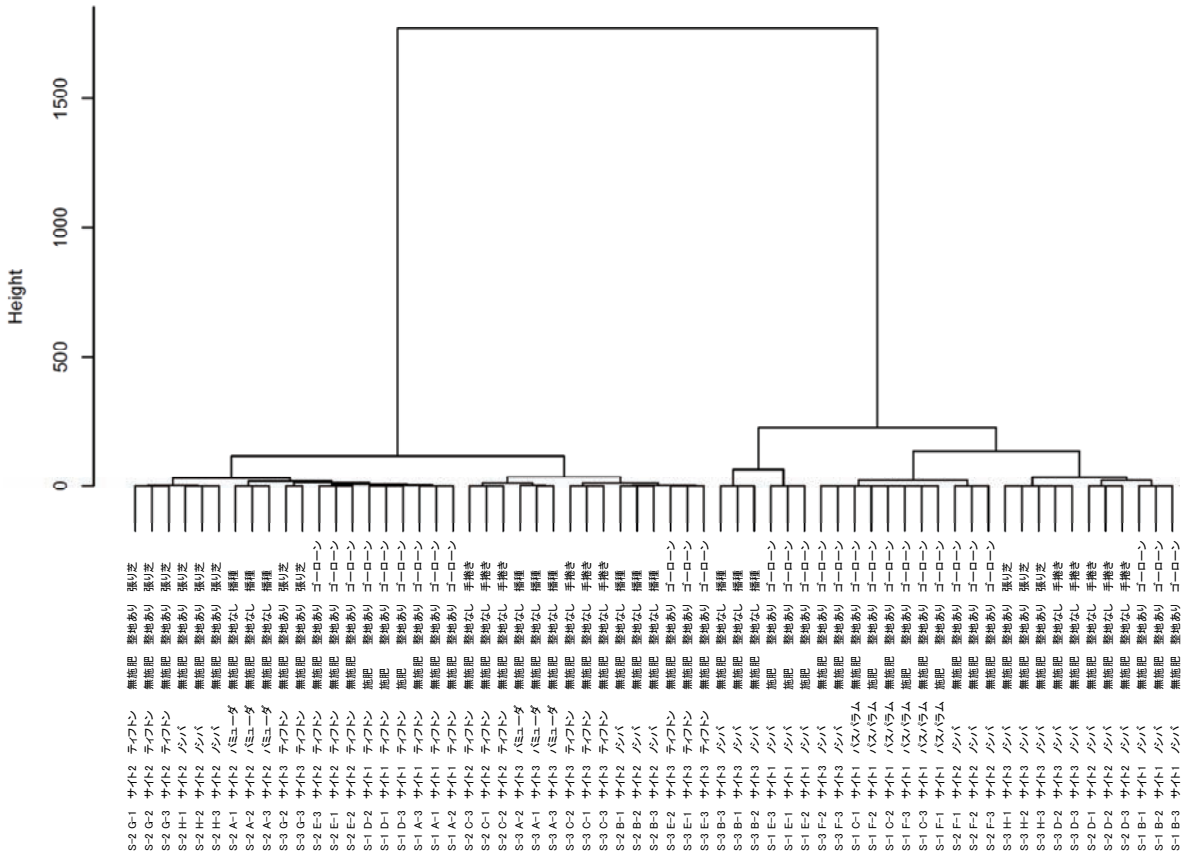



図 3.16　除染効果と芝草の成長をパラメータとした時のデンドログラム

除染効果としては Cs-137 に対する除染効果を、芝草の成長のパラメータとしては芝草の植被率（%）及び草高（cm）を用いた。クラスター分析は、一般的な方法であるウォード法（距離の測度はユークリッド距離）を用いている。

セシウムはカリウムと同じ 1A 属（アルカリ金属）であり、植物体への吸収及び動態はカリウムと類似していると考えられる。カリウムは、土壌から芝草へは $K^+$イオンとして吸収され、その働きとしては、炭水化物の合成と転流、アミノ酸とタンパク質の合成、酵素反応の触媒、蒸散の調整、呼吸の調整、ある種の養分の摂取量制御である。また、発根を高める効果や、ほふく茎及び地下茎の成長はカリウムの分量に比例することが知られている[8]。

一方、芝草中のセシウムの挙動については、山田ほか（2012）[9]では、芝草（バミューダグラス）の溶液-植物間の分配、特に茎葉と根の間の転流について 0.01mmol/L の溶液を用いた室内実験で調べており、濃度では茎葉：根=1:4、吸収量では茎葉：根=1:1 の転流が起きていることを示している。ブルーベリーを用いた実験であるが、土壌中セシウム濃度として $10^{-6}$～$10^{2}$mg/kg のオーダでは、土壌、溶液及び葉中のセシウム濃度の間に直線関係がみられ[10]、これと同様の傾向が他の植物でもみられるとすると、今回の試験でも放射性セシウムは根から吸収され、その後、葉茎へ転流するものと考えられる。なお、参考として、土壌から芝草そして、葉茎への転流した時の葉茎中の濃度は、土壌 1kBq/m$^2$ あたり約約 3.5Bq/kg（新鮮重）となる（付録 11）。

1A 属の元素には､カリウムの他にナトリウムやルビジウムがあり､その挙動によっては、除染効果がさらに小さくなることも考えられる。芝草が属するイネ科の植物であっても、イネやオオムギは、カリウム欠乏時にナトリウムで代替できることが知られており[11]、同様にセシウムで代替する場合がある[12, 13]。一方、同じイネ科であってもトウモロコシの様にナトリウムで代替されない種もある[11]。芝草においては、大局的にはカリウムと同様の挙動を示すものと考えられるが、ナトリウムやルビジウムとの競合については不明であり、今後の理解が望まれる。

この様な化学的挙動の類似性の他、土壌-植物系における放射性セシウムの挙動として、土壌から植物への移行係数は、時間とともに移行しづらくなること（エイジング効果）が知られている（例えば[14]）。

なお、仮に芝草の刈り込みやサッチ層の除去を行った場合を想定すると、発生する廃棄物中の放射性セシウムは、未処理の廃棄物として 1kBq/m$^2$ あたり約 3.5Bq/kg（新鮮重）、さらに焼却処理した場合焼却灰として 1kBq/m$^2$ あたり約 150Bq/kg になる（付録 11）。

以上のことを踏まえると、芝草への吸収による除染を行う場合、以下のことが想定される。

① 土壌から芝草への放射性セシウムの吸収は、土壌中の約 1%未満である。
② 芝草の根から吸収された放射性セシウムは、葉茎に転流する。
③ 土壌中に同族元素であるナトリウムやルビジウムが含まれる場合、セシウムの吸収がどの程度進むかは不明。
④ 土壌の性質によっては、土壌から植物への移行係数が時間とともに下がるエイジングが起きる可能性がある。

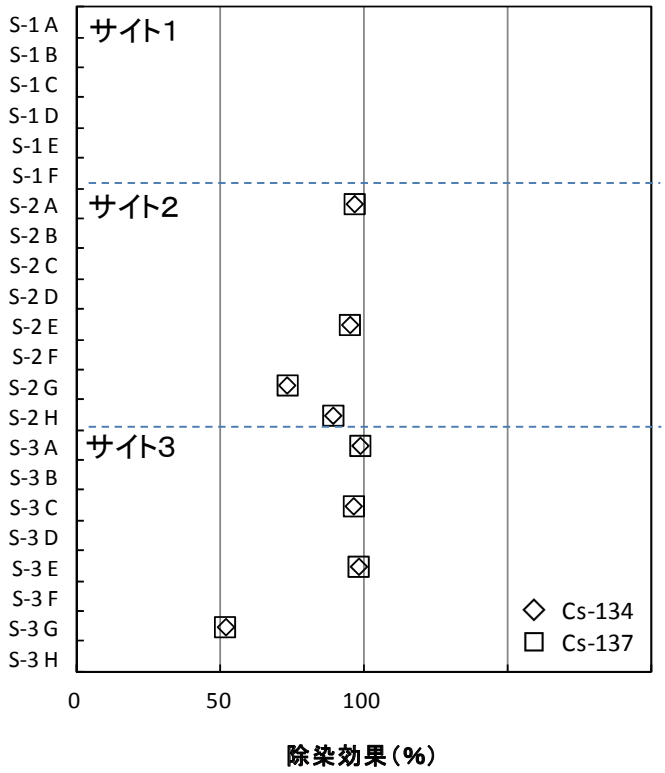
⑤ 芝草の刈り込みやサッチ層の除去によって土壌から吸収した放射性セシウムを除染する場合、その除染効果はほとんど得られず、吸収の効果は時間とともに悪くなることが想定され、発生する廃棄物の取扱いには注意が必要である。

### 3.3.2. 芝草の剥ぎ取りによる除染

芝草の剥ぎ取りによる除染効果を図 3.17 及び付録 12 に示す。ここで、除染効果は、

除染効果（マットとともに除去される Cs の割合）[%]
＝（マットの Cs 量[Bq]）／（マットの Cs 量[Bq]＋残土の Cs 量[Bq]）×100

である。なお、Cs は、Cs-134 もしくは Cs-137 を意味している。マットの剥離に用いたソッドカッターの切り出し深さは、根圏の発達（最大でも表面から 5cm）を考慮して約 10cm としたが、土壌の剥離厚さを一定（例えば、5cm）に維持することは困難であった。成長が悪く、回収率が悪いもの、あるいはソッドカッターで剥ぎ取ることもできないものもあったが、データとして得られたものの除染効果の多くは 70～100%であった。芝草への吸収による除染効果が 1%以下であったことから、多くは芝草の根茎周辺の土壌が一緒に除去されたことによる効果であることが分かる。




| 適用品種 | 施肥状況 | 施工方法1 | 施工方法2 |
|---|---|---|---|
| ティフトン | 無施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| ノシバ | 無施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| パスパラム | 無施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| ティフトン | 施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| ノシバ | 施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| パスパラム | 施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| バミューダ | 無施肥 | 整地なし | 播種 |
| ノシバ | 無施肥 | 整地なし | 播種 |
| ティフトン | 無施肥 | 整地なし | 手播き |
| ノシバ | 無施肥 | 整地なし | 手播き |
| ティフトン | 無施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| ノシバ | 無施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| ティフトン | 無施肥 | 整地あり | 張り芝 |
| ノシバ | 無施肥 | 整地あり | 張り芝 |
| バミューダ | 無施肥 | 整地なし | 播種 |
| ノシバ | 無施肥 | 整地なし | 播種 |
| ティフトン | 無施肥 | 整地なし | 手播き |
| ノシバ | 無施肥 | 整地なし | 手播き |
| ティフトン | 無施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| ノシバ | 無施肥 | 整地あり | ゴーローン |
| ティフトン | 無施肥 | 整地あり | 張り芝 |
| ノシバ | 無施肥 | 整地あり | 張り芝 |

図 3.17　芝草の剥ぎ取りによる除染効果

第 3.1 章に示したように、放射性セシウムの多くが土壌に固定された形態にあり、粘土鉱物の層間でイオン交換可能な形態にあるものが数パーセントあることが分かった。将来的に粘土鉱物に吸着している放射性セシウムが土壌溶液中に出てきたとしても、徐々に土壌に固定され、植物への吸収量が時間経過とともに小さくなる（移行係数が小さくなっていく）エイジング効果（例えば[14]）が観察されるものと考えられる。

一方、農林水産省の「農地土壌の放射性物質除去技術（除染技術）」[15]で示されたように、農地の表土の剥ぎ取りによる除染は、農業用トラクターに取り付けたリアブレード（排土板）を用いる方法では、約 10a/h（10a あたり 55～70 分）の効率で行うことができ、ターフスライサーを用いて芝草や牧草を農地の表土とともに剥ぎ取る方法では、同程度の約 15a/h（0.15km/h×幅 1m）の効率で行うことができる。

この様なことから、芝草の剥ぎ取りによる除染は、植物への吸収による除染に比べて、より適用しやすい除染方法であると考えることができる。なお、発生する廃棄物を焼却処理した場合、芝草の灰分が乾燥重量あたりで約 1 割ある[16]ことから、この分の重量が土壌部分の廃棄物に加わることになる。参考として、単位面積当たりの工数の例を付録 13 に示す。

ただし、福島県内では、空間線量率が 20mSv/y より低い地域については、2012 年 4 月から除染作業を順次進めることになっており、ファイトレメディエーションの様な時間を要する除染方法は適用しづらいものと考えることができる。そこで、この様な除染が適用できる地域について考えると、例えば以下の様なところが想定できる。

○ 汚染が非常に高く、数年は除染に手をつけられない場所で、最終的な除染をするまでの間の放射性物質の飛散防止を目的とする。
○ 表土の剥ぎ取りなどによる除染や深耕などによる濃度低下を行った場所で、芝草を植え、土地の有効活用を図ることを目的とする。

前者については、2012 年 2 月初旬に福島市で降下物中に比較的濃度の高い放射性セシウムが検出された要因として、放射性セシウムを含むじん埃が風によって拡散したことが考えられた[17]ように、風による拡散を懸念する場所での対策としては一つの方法であると考えられる。

## 4. まとめ

放射性物質によって汚染された農地の除染方法として、芝草を用いたファイトレメディエーションを検討した。芝草の品種として、対象地域の気候風土に適すると考えられたバミューダグラス、ティフトン及びノシバ、そして、好塩性を有するパスパラムを用いたが、ノシバ及びパスパラムの育成が悪かった。施工方法としては、バミューダグラス及びノシバであれば播種したものの育成状況が良かった。ティフトンであれば、ストロン苗（手播

き、ゴーローン)、張り芝とも問題なかった。7 月から約 4 ヶ月の試験期間であるため、試験開始時期が活着など初期成長へ影響したことが原因と考えられた。植物の吸収による除染方法では、最大の吸収効率が得られたかは不明であるが、どの品種でも 1%未満であった。芝草の剥ぎ取りによる除染方法では、育成が良いものでは 100%近くの除染効果を得るものがあった。様々な除染方法が検討されているが、対象とする地域の放射線レベル（すなわち、除染完了までの時間的猶予）や除染後の土地活用の考え方によっては、芝草を用いた除染方法も選択肢として想定できるものと考えられる。

## 謝辞

この試験を進めるにあたって、浪江町及び南相馬市の地権者の方には、試験の意義を理解していただき、農地を試験サイトとして利用させていただいた。また、東北電力株式会社及び鹿島建設株式会社技術研究所の方々には、現地情報及び土壌・植物の扱い等に係る助言、協力を頂いた。また、試験に係る様々な作業については、東海研究開発センター及び人形峠環境技術センターの関係者に率先して協力いただいた。ここに、記して深く謝意を申し上げる。

## 参考文献

[1] 福島県農地林務部農地計画課: ”土地分類基本調査　原町・大甕” (1991).

[2] 吉原利一ほか: “植物による環境修復 (1)　－現状と遺伝子工学の適用に関する調査－”, 電力中央研究所報告, 調査報告 U00022 (2000).

[3] 文部科学省: “環境試料測定法”, 放射能測定法シリーズ 16, 日本分析センター (1983).

[4] 日本芝草学会: “最新　芝生・芝草調査法”, ソフトサイエンス社, (2001).

[5] A.J.タージョン（上野幸夫訳）: “ターフグラスマネジメント 8thエディション” ゴルフダイジェスト, (2009).

[6] I. Andersson et al.: "Long-term studies on transfer of $^{137}$Cs from soil to vegetation and to grazing lambs in a mountain area in Northern Sweden", J. Environ. Radioactivity 52 pp.45-66 (2001).

[7] D. Copplestonea et al.: "Behaviour and transport of radionuclides in soil and vegetation of a sand dune ecosystem", J. Environ. Radioactivity 55 pp.93–108 (2001).

[8] 北村文雄ほか（編）: “芝草・芝地ハンドブック”, 博友社, (1997).

[9] 山田ほか: “植物による農地土壌等における放射性物質除去技術の開発”, JAEA-Research 2012-015, (2012).

[10] S.C. Sheppard and W.G. Evenden: “The Assumption of Linearity in Soil and Plant Concentration Ratios: An Experimental Evaluation”, J. Environ. Radioactivity, 7, pp.221-247, (1988).

[11] 米山忠克ほか: “新植物栄養・肥料学”, 朝倉書店, (2010).
[12] 福島県農林水産部: “二本松市旧小浜町の水田における調査結果（中間報告）”, (2011).
[13] 福島県・農林水産省: “暫定規制値を超過した放射性セシウムを含む米が清算された要因の解析（中間報告）”, 暫定規制値を超過した米の発生要因中間検討会資料, (2011).
[14] H.M. Squire and L.J. Middleton: “Behaviour of Cs-137 in Soils and Pastures. A Long Term Experiment”, Radiation Botany, 6, pp.413-423, (1966).
[15] 農林水産省: “農地土壌の放射性物質除去技術（除染技術）について”, (2011)
[16] 三秋尚ほか: “飼料作物の化学的成分と飼料価値に関する研究（第 16 報）バーミューダグラス、バヒアグラス、オーチャードグラス、トールフェスクの飼料価値の比較”, 岡山大農学報 (42), pp.47-53 (1973).
[17] 福島県災害対策本部（原子力班）: “定時降下物から放射性セシウムが比較的高い濃度で検出された要因について”, (2012).

This is a blank page.

# 付　録

This is a blank page.

## 付録１　試験サイトの特徴及び試験前の状況について

各試験場所の地形、表層地質及び土壌に係る特徴を以下に示す。ここで用いている記号は、福島県農地林務部農地計画課（1991）[1]による。また、併せて試験前の状況について示す。

サイト１（福島県双葉郡浪江町南津島；計画的避難区域）

地形地域区分：阿武隈高地、山地小起伏部（Ia）

地形分類：上位砂礫段丘（$GtI^{+}$）

表層地質：先第三紀（Pt）の黒雲母花崗岩・花崗閃緑岩 Gr(II)

土壌：黒ボク土壌（飯館統 Id）

飯館統：火山灰土壌であるが、表層腐植層の土性が壌質～粘質の土壌である。

多湿黒ボク土壌（広谷地統 Hr）

広谷地統：火山灰土壌であるが、壌質～粘質の水田土壌である。

なお、周囲の山野の土壌は、適潤性褐色森林土壌（津島 II 統 TusII）である。

津島 II 統：花崗岩を母材とする褐色森林土壌であるが、この地域には、火山灰の堆積物を母材とする黒ボク土壌（草野統 Kus）も分布し、火山灰の影響を受けているところも少なくない。

試験前の状況（畑地）：平成 23 年 6 月に予備調査した時点では、作物は植えられておらず、雑草の繁殖も少なかった。また、表層の不陸は少なく、土壌は軟弱であった。

サイト２（福島県南相馬市原町区大谷）

地形地域区分：浜通り低地帯、新田川下流低地（Vb）

地形分類：谷底平野（Vp）

表層地質：第四紀完新世（沖積世）（A）の未固結堆積物（砂・礫 sg）

現河床及び氾濫原堆積物である。

土壌：灰色低地土壌（片草統 Kk）

片草統 Kk：中粗粒の灰色低地土で、土性は表層が壌質～粘質で、下層が灰色ないし灰褐色の壌質である。

試験前の状況（田地）：平成 22 年秋の稲刈り後、耕耘した状態で放置されていた。導水はされていなかったため、乾燥した表層の不陸は極めて大きく、稲の切り株が残存していた。

サイト３（福島県南相馬市原町区馬場；緊急時避難準備区域[1)]）

地形地域区分：浜通り低地帯、雲雀ヶ原台地（Iva）

地形分類：谷底平野（Vp）

表層地質：第四紀完新世（沖積世）（A）の未固結堆積物（砂・泥・礫 smg）
海岸平野及び低地堆積物である。

土壌：灰色低地土壌（片草統 Kk）

試験前の状況（田地）：平成 22 年秋の稲刈り後、耕耘した状態で放置されていた。導水はされていなかったため、乾燥した表層の不陸は極めて大きく、稲の切り株が残存していた。

1）緊急時避難区域は、平成 23 年 9 月 30 日をもって一括解除されている。

参考資料

[1] 福島県農地林務部農地計画課: ”土地分類基本調査　原町・大甕” (1991).

## 付録 2　適用品種について

一般的に芝草として利用されているイネ科植物は、暖地型、寒冷地型合わせて世界で 40 種以上、日本国内では主要なもので 20 種前後あると言われている（表 付 2.1）[1]。芝造成試験で適用したノシバ、バミューダグラス、ティフトン及びパスパラム[1] の特徴を示す。

ノシバ（Japanese lawngrass, Korean lawngrass）学名 *Zoysia japonica*

北海道南部から沖縄まで広く自生している日本芝とも呼ばれる在来品種の 1 品種。葉幅が広く芝生としては比較的粗であるが、環境適応性が高くやせ地にも良く耐えて生育するので大面積の地表面（法面）保護などの粗放管理的な利用に適している。飛行場や法面の植栽にノシバが多用される。5～6 月に花茎を出し開花する。

ノシバはやや節間が粗く繁殖方向が直線的で伸びが速いために、緻密な芝になりにくい。高温多湿に適応した芝草で、生育適温が 23℃～35℃と高い。そのため、通常の管理をしていれば日本の夏でも耐えることができる。しかし、気温が 23℃以下になる 10～11 月から 3 月の冬季には生育が停止（休眠）し、葉に黄変が見られるようになる。

日本芝は一般に栄養体繁殖（張り芝）により繁殖させることが特徴であるが、その生長形態はほふく茎が伸びることによる節間伸張である。ノシバはバミューダグラスと比較すると生育は遅いが、ほふく茎が地中に伸びるので表層土の根系の形成が期待できる。

バミューダグラス（Bermudagrass）学名 *Cynodon dactylon*

アメリカ原産であり、暖地型芝草としては最も強い生育期の繁殖力を持つ。踏圧・擦り切れからの回復力が強いため、サッカーなどのスポーツ施設で多用される。生育適正温度は 20℃～35℃程度。気温が 10℃以下になると休眠状態になり、生育が停止する。生育時には、ほふく茎を水平方向に伸ばし、地表を覆うように生育する。ノシバよりも生育が速く、早期に芝地を造成できることが期待できる。その一方で、バミューダグラスのほふく茎は地上部で水平方向に伸びる性質があり、通常の芝地の造成では生育後の転圧や目砂散布により地中への根の発達を促す。本試験では生育後の転圧作業などは行えないことから、表層土中への根の生育がどの程度可能かは未知である。

ティフトン（Tifton strains）学名 *Cynodon dactylon*

バミューダグラスを改良した品種で、葉が比較的短い。繁殖力の強いバミューダ系の中でも成長が最も速く、踏圧からの回復力も強い。成長が速いために、刈り込み回数が増え

---

[1] 文献により名称が異なるが、以下の名称は同じものとして扱っている。
ノシバとゾイシアグラス
バミューダグラスとコモンバミューダグラス、普通種のバミューダグラス
ティフトンとティフトン系、ティフトン種、ハイブリッドバミューダグラス
パスパラムとシーショアパスパラム

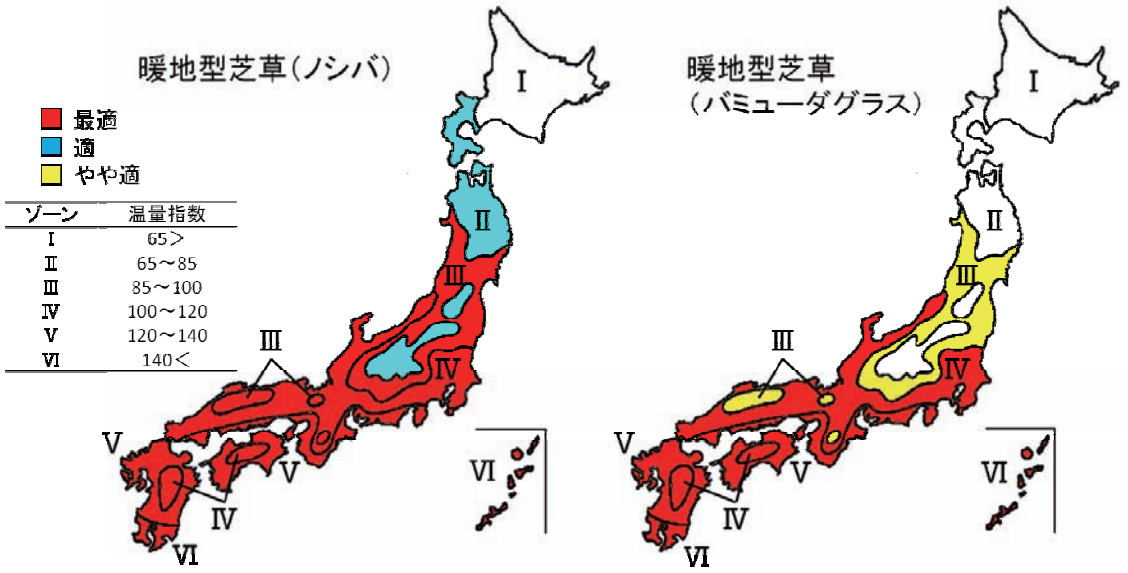
るデメリットもある。日本芝に近い性質を持ち、草丈は 20～50cm であり、ほふく茎で繁殖する。日本芝より休眠期間は短く、他の西洋芝より葉は細かく濃緑色で鮮やかである。耐潮性が比較的高く、海浜公園などにも適する。生育温度や休眠温度はバミューダグラスと同等。

シーショアパスパラム（seashore paspalum）学名 *Pasupalum vaginatum*

本品種はシーショアパスパラムという熱帯・亜熱帯地域原産の芝草の一品種で、イネ科草本の中でも最も塩害に強いとされ、海水をかけても変色（枯死）しない好塩性の品種である。成長は旺盛で早いが、熱帯・亜熱帯原産であることから耐寒性は極端に劣る。強酸性から強アルカリ性までの幅広い pH 範囲の土壌にも適応する（pH4.0～9.8 の範囲で生育可能）。また、冠水抵抗性も高く、排水の悪い場所や冠水する場所でも生育する。バミューダグラス以上の繁殖力を持ち、生育適期にはティフトンを上回る水平方向への被覆力を示すこともある。生長形態は、ほふく茎の伸長による節間伸張である。

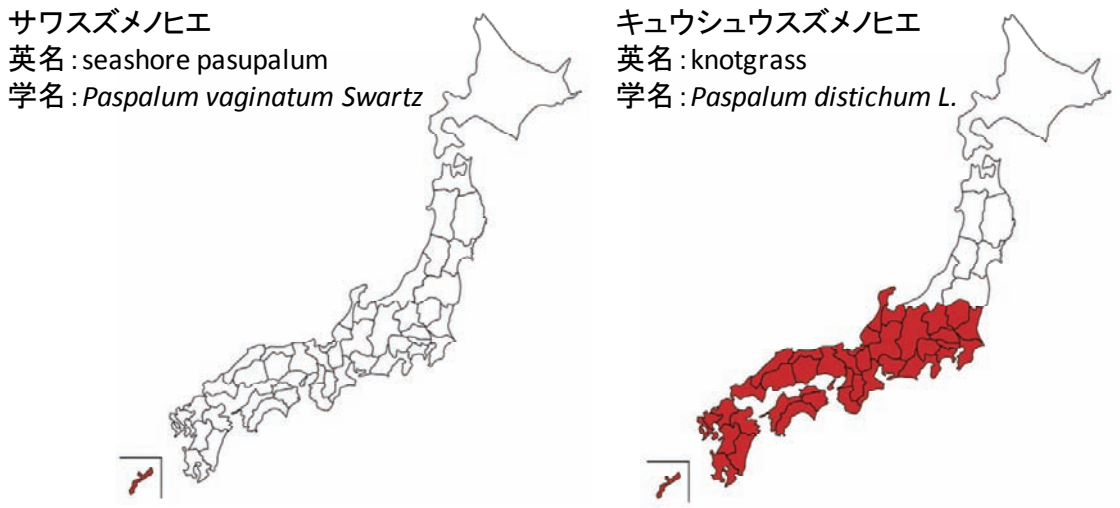
これらの植栽可能ゾーンは、ノシバが最も北まで伸び秋田県沿岸部～宮城県以南、バミューダグラス及びパスパラム（製品名：青あも）は関東以南である（図 付 2.1,2.2）[1, 2]。

それぞれの特徴を比較すると、低温耐性、高温耐性、乾燥耐性及び酸性土壌耐性は比較的近いものがあるが、初期成長、耐塩性、栄養要求及び回復力に違いがみられる。すなわち、パスパラムは耐塩性が、そしてバミューダグラスは栄養要求が高い。また、ノシバは初期成長及び回復力が悪い（表 付 2.2～2.10）[4]。




浅野・青木（1998）[1]を参考に作成

図 付 2.1　主要芝草の植栽適用ゾーン




桑原（2008）[2]を参考に作成

図 付 2.2　パスパラムの植栽適用ゾーン

表 付 2.1　我が国における芝草の種類と分類

| 科 | 亜科 | 属 | 種 | 一般名称 |
|---|---|---|---|---|
| イネ科 | ウシノケグサ亜科 | *Agrositis* | *A. alba* | レッドトップ |
| （*Gramineae*／*Poaceae*） | （*Festucoideae*） | | *A. canina* | ベルベットベントグラス |
| | | | *A. palustris* | クリーピングベントグラス |
| | | | *A. tenuis* | コロニアルベントグラス |
| | | *Festuca* | *F. arundinacea* | トールフェスク |
| | | | *F. ovina* | シープフェスク |
| | | | *F. pratensis* | メドウフェスク |
| | | | *F. rubra* | レッドフェスク |
| | | *Lolium* | *L. multiflorum* | イタリアンライグラス |
| | | | *L. perenne* | ペレニアルライグラス |
| | | *Poa* | *P. compressa* | カナダブルーグラス |
| | | | *P. pratensis* | ケンタッキーブルーグラス |
| | | | *P. trivialis* | ラフブルーグラス |
| | スズメガヤ亜科 | *Buchloe* | *B. dactyloides* | バッファローグラス |
| | （*Eragrostoideae*） | *Cynodon* | *C. dactylon* | バミューダグラス |
| | | | *C. transvaalensis* | アフリカンバミューダグラス |
| | | *Eragrostis* | *E. curvula* | ウイーピングラブグラス |
| | | *Zoysia* | *Z. japonica* | ノシバ |
| | | | *Z. matrella* | コウライシバ |
| | | | *Z. tenuifolia* | ビロードシバ |
| | キビ亜科 | *Eremochloa* | *E. ophuroides* | センチペドグラス |
| | （*Panicoideae*） | *Axonopus* | *A. affinis* | カーペットグラス |
| | | *Paspalum* | *P. dilatatum* | ダリスグラス |
| | | | *P. notatum* | バヒアグラス |
| | | *Pennisetum* | *P. clandestinum* | キクユグラス |
| | | *Stenoraphrum* | *S. secundatum* | セントオーガスチングラス |

浅野・青木（1988）[1]を参考に作成

表 付 2.2　芝の種類とその特性

| | 一般名称 | 繁殖形態 | 育成型 | 適性 土性 | 土壌水分 | 生育温度 | 日陰 | 刈込 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 日本芝　暖地型 | ノシバ | 苗種子 | ほふく | 砂壌 | 乾 | 高温～冷涼 | 中 | 強 |
| | コウライシバ | 苗 | ほふく | 砂壌 | 乾 | 高温 | やや強 | 強 |
| | ヒメコウライシバ | 苗 | ほふく | 砂壌 | 乾 | 高温 | やや強 | 強 |
| | ビロードシバ | 苗 | ほふく | 砂壌 | 中 | 高温 | 中 | 強 |
| 西洋芝　暖地型 | コモンバミューダグラス | 種子 | ほふく | 砂壌 | 乾湿 | 高温 | 弱 | 強 |
| | アフリカンバミューダグラス | 苗 | ほふく | 埴壌 | 乾 | 高温 | 弱 | 強 |
| | ティフトン | 苗 | ほふく | 埴壌 | 乾 | 高温 | 弱 | 強 |
| | セントオーガスチングラス | 苗 | ほふく | 砂壌 | 乾 | 高温 | 強 | 強 |
| 西洋芝　寒地型 | レッドトップ | 種子 | ほふく、株立 | 壌、（粘質） | 湿 | 冷涼～低温 | 中 | 中 |
| | コロニアルベントグラス | 種子 | ほふく、株立 | 壌、（粘質） | 湿 | 冷涼～低温 | 中 | 中 |
| | クリーピングベントグラス | 苗種子 | ほふく | 壌、（粘質） | 湿 | 冷涼～低温 | 中 | やや強 |
| | ベルベットベントグラス | 苗種子 | ほふく | 壌、（粘質） | 湿 | 冷涼～低温 | 強 | 中 |
| | ケンタッキーブルーグラス | 種子 | 株立 | 壌、粘質 | 湿 | 冷涼～低温 | 強 | 中 |
| | カナダブルーグラス | 種子 | ほふく | 壌、粘質 | 湿 | 冷涼～低温 | 強 | 弱 |
| | レッドフェスキュー | 苗種子 | ほふく | 砂壌 | 湿～乾 | 高温～低温 | 強 | 中 |
| | シープスフェスキュー | 種子 | 株立 | 砂質 | 乾 | 高温～低温 | 中 | 弱 |
| | トールフェスキュー | 種子 | 株立 | 砂質 | 乾湿 | 高温～低温 | 中 | 強 |
| | ペレニアルライグラス | 種子 | 株立 | 壌 | 湿 | 冷涼～低温 | 中 | 強 |
| | イタリアンライグラス | 種子 | 株立 | 壌、砂質 | 湿 | 冷涼～低温 | やや強 | 中 |

中島（2004）[3]を参考に作成

表 付 2.3　主要な芝草の初期成長性比較

| | 暖地型 | 寒地型 |
|---|---|---|
| 速い | | |
| ↑ | バミューダグラス | ペレニアルライグラス |
| | シーショアパスパラム | トールフェスク |
| | バッファーローグラス | ファインフェスク |
| | セントオーガスチングラス | クリーピングベントグラス |
| | バヒアグラス | コロニアルベントグラス |
| | センチピードグラス | ケンタッキーブルーグラス |
| ↓ | ノシバ | ラフブルーグラス |
| 遅い | | |

タージョン(2009)[4]を参考に作成

表 付 2.4　主要な芝草の低温耐性の比較

| | 暖地型 | 寒地型 |
|---|---|---|
| 高い | | |
| ↑ | バッファローグラス | クリーピングベントグラス |
| | ノシバ | ラフブルーグラス |
| | バミューダグラス | ケンタッキーブルーグラス |
| | シーショアパスパラム | コロニアルベントグラス |
| | バヒアグラス | ファインフェスク |
| | センチピードグラス | トールフェスク |
| ↓ | セントオーガスチングラス | ペレニアルライグラス |
| 低い | | |

タージョン(2009)[4]を参考に作成

表 付 2.5　主要な芝草の高温耐性の比較

| | 暖地型 | 寒地型 |
|---|---|---|
| 高い | | |
| ↑ | ノシバ | トールフェスク |
| | バミューダグラス | クリーピングベントグラス |
| | シーショアパスパラム | ケンタッキーブルーグラス |
| | バッファローグラス | コロニアルベントグラス |
| | センチピードグラス | ファインフェスク |
| | セントオーガスチングラス | ペレニアルライグラス |
| ↓ | バヒアグラス | ラフブルーグラス |
| 低い | | |

タージョン(2009)[4]を参考に作成

表 付 2.6　主要な芝草の乾燥耐性の比較

| | 暖地型 | 寒地型 |
|---|---|---|
| 高い | | |
| ↑ | バッファローグラス | ファインフェスク |
| | シーショアパスパラム | トールフェスク |
| | バミューダグラス | ケンタッキーブルーグラス |
| | ノシバ | ペレニアルライグラス |
| | バヒアグラス | コロニアルベントグラス |
| | セントオーガスチングラス | クリーピングベントグラス |
| ↓ | センチピードグラス | ラフブルーグラス |
| 低い | | |

タージョン（2009）[4]を参考に作成

表 付 2.7　主要な芝草の酸性土壌耐性の比較

| | 暖地型 | 寒地型 |
|---|---|---|
| 高い | | |
| ↑ | センチピードグラス | トールフェスク |
| | バミューダグラス | ファインフェスク |
| | シーショアパスパラム | コロニアルベントグラス |
| | ノシバ | クリーピングベントグラス |
| | セントオーガスチングラス | ペレニアルライグラス |
| | バヒアグラス | ケンタッキーブルーグラス |
| ↓ | バッファローグラス | ラフブルーグラス |
| 低い | | |

コモンバミューダグラスの例を示す。ティフトンはシーショアパスパラムに同じ。
タージョン（2009）[4]を参考に作成

表 付 2.8　主要な芝草の耐塩性の比較

| | 暖地型 | 寒地型 |
|---|---|---|
| 高い | | |
| ↑ | シーショアパスパラム | トールフェスク |
| | セントオーガスチングラス | ペレニアルライグラス |
| | ノシバ | ファインフェスク |
| | バミューダグラス | クリーピングベントグラス |
| | バッファローグラス | ケンタッキーブルーグラス |
| | センチピードグラス | ラフブルーグラス |
| ↓ | バヒアグラス | コロニアルベントグラス |
| 低い | | |

タージョン（2009）[4]を参考に作成

表 付 2.9　主要な芝草の栄養要求の比較

| | 暖地型 | 寒地型 |
|---|---|---|
| 高い | | |
| ↑ | バミューダグラス | クリーピングベントグラス |
| | セントオーガスチングラス | ケンタッキーブルーグラス |
| | ノシバ | コロニアルベントグラス |
| | シーショアパスパラム | ラフブルーグラス |
| | センチピードグラス | ペレニアルライグラス |
| | バヒアグラス | トールフェスク |
| ↓ | バッファローグラス | ファインフェスク |
| 低い | | |

タージョン（2009）[4]を参考に作成

表 付 2.10　主要な芝草の回復力の比較

| | 暖地型 | 寒地型 |
|---|---|---|
| 高い | | |
| ↑ | バミューダグラス | クリーピングベントグラス |
| | シーショアパスパラム | ケンタッキーブルーグラス |
| | セントオーガスチングラス | ラフブルーグラス |
| | バヒアグラス | トールフェスク |
| | バッファローグラス | ペレニアルライグラス |
| | センチピードグラス | ファインフェスク |
| ↓ | ノシバ | コロニアルベントグラス |
| 低い | | |

タージョン（2009）[4]を参考に作成

参考資料

[1] 浅野義人、青木孝一: “芝草と品種－育種と利用のための選択－”, ソフトサイエンス社, (1998).

[2] 桑原義晴: "桑原義晴　日本イネ科植物図譜," 全国農村教育協会, (2008).

[3] 中島宏: “緑化・植栽マニュアル　計画・設計から施工・管理まで”, 経済調査会, (2004).

[4] A.J.タージョン（上野幸夫訳）: “ターフグラスマネジメント 8th エディション” ゴルフダイジェスト, (2009).

付録 3　芝地造成方法について

1.　施肥条件

通常の芝地の造成では施肥が必須条件であるが、本試験では農地で行われることから、土壌内はある程度肥料成分が残留しているものと想定された。一方、畑地については、利用状況及び施肥状況が分からなかった。そこで、本試験では田地については無施肥による試験を基準として、畑地では施肥を行う試験区を比較対象として設置した。すなわち、サイト 1 については、芝張り施工時に施肥区と無施肥区を設け、芝の生育状況への影響の有無を観察する。サイト 2 及び 3 については、芝張り施工時の施肥は行わず、経過観察時の生育状況に基づいて施肥実施の判断を行うこととした。施肥を行う場合の肥料は、現地で一般的に流通している製品を用いた。

2.　芝張り施工の方法

実際の活動を想定すると、本試験では芝刈りなどの管理養生作業は行わず、芝張り施工以降、剥離作業までは基本的に管理しない条件で行うことが適切と考えられた。また、秋季には土壌をともに芝草の剥ぎ取り作業が可能となるよう、なるべく早期に根圏を発達させることが望まれた。これらの条件の他、資材の入手可能性や対象農地の状態（表面の不陸など）を勘案して、それぞれの試験場所に適した施工法を選定した。今回採用した芝張りの施工方法を以下に示す。

①張り芝工法

芝畑で育成した芝を茎葉部と地下部のほふく茎や根を含む土壌の表層部と共に切り取った芝草（ソッドとも切り芝とも言う）を造成地に張り付ける方法である。施工後は、目土が必要である。ソッドは、一般に幅 30cm 程度に規格化されており、ロール状あるいは長さ 35～37cm 程度のタイル状で提供される。表層土の部分の厚さは 2～3cm 程度である。今回はタイル状のものを用いた。

②ストロン播き工法

生育した芝を剥ぎ取り、付着した土壌などを洗い流し、ほぐしたほふく茎（Stolon）にしたもの（ストロン）を造成地に一様に散布する方法である。施工後は目土が必要である。ストロンの散布量は 1m$^2$ 当たり 150g が標準であるが，今回は標準の 2 倍の 300g/m$^2$ の施工量とした。

③ゴーローン工法（ZN 工法）

洗浄したストロンを 2 枚の目の粗い木綿のネット（幅 1m）の間に挟み込んだもの（ゴーローン）を造成地に植え付ける方法で、一様にストロンを散布することが可能である。施

工後は目土が必要である。

④播種工法

芝の種子を直接地面に播く工法で、一様に播くために播種機を用いるのが一般的である。ここでは、種子の散布量を 25g/m² と標準の 2 倍以上としたが、施工面積が狭いため目土と混合して手播きした。

それぞれのサイトで用いた品種及び芝張り施工時の形態を図 付 3.1～3.4 に示す。

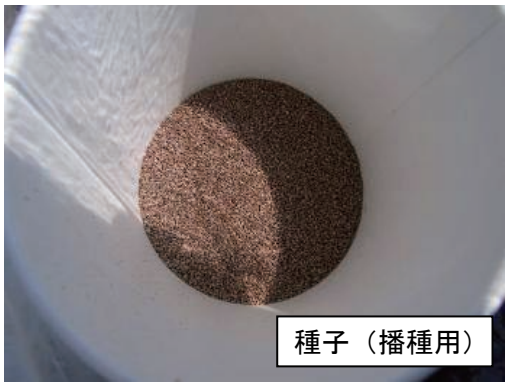



図 付 3.1　試験に用いた品種と施工時の形態（バミューダグラス）

図 付 3.2　試験に用いた品種と施工時の形態（ティフトン）

図 付 3.3　試験に用いた品種と施工時の形態（ノシバ）

図 付 3.4　試験に用いた品種と施工時の形態（パスパラム）

## 3. 芝草の芝張り施工の実施状況

1.に示した施肥条件及び2.に示した芝張り施工の方法をもとに、各サイトのアレンジ、施工手順及びその際の光景を以下に示す。

### 3.1. サイト1（畑地）

実施時期：平成23年7月6日（水）～8日（金）

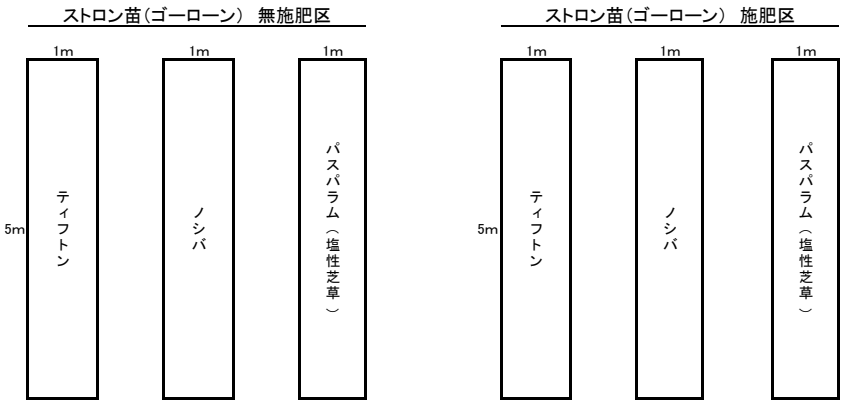



図 付3.5 サイト1の試験区のアレンジメント

施工範囲：12m×5m

試験区 ：15m×10m（全域）

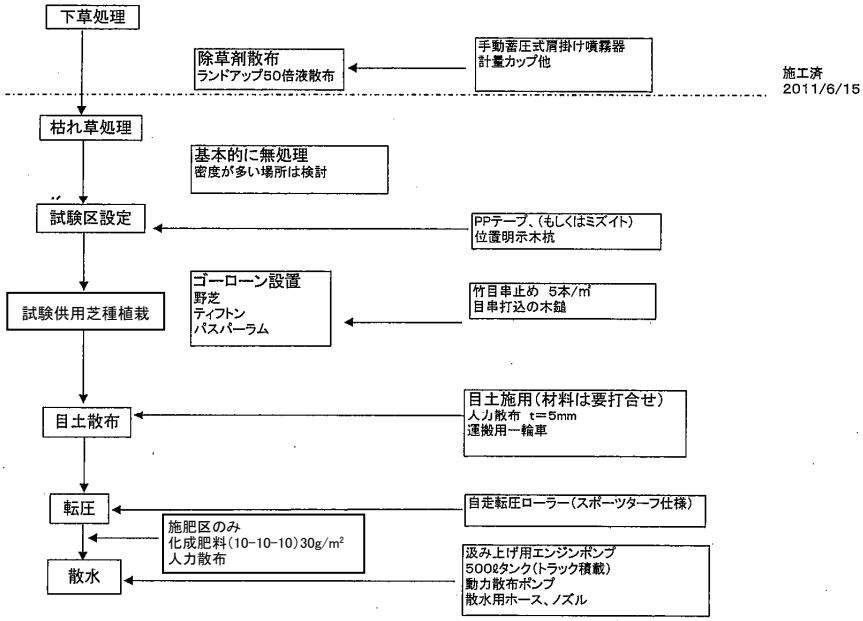



図 付3.6 サイト1における作業手順

図 付 3.7　サイト 1 での作業風景

3.2.　サイト 2 及び 3（田地）

実施時期：平成 23 年 7 月 6 日（水）～8 日（金）

サイトアレンジ（施工方法と適用品種）

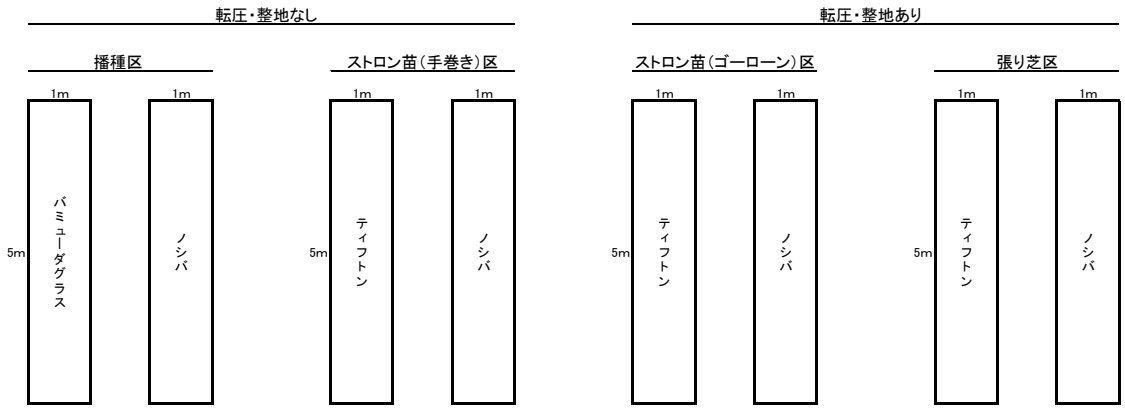



図 付 3.8　サイト 2 及び 3 の試験区のアレンジメント

施工範囲：12m×5m

試験区　：15m×10m（全域）

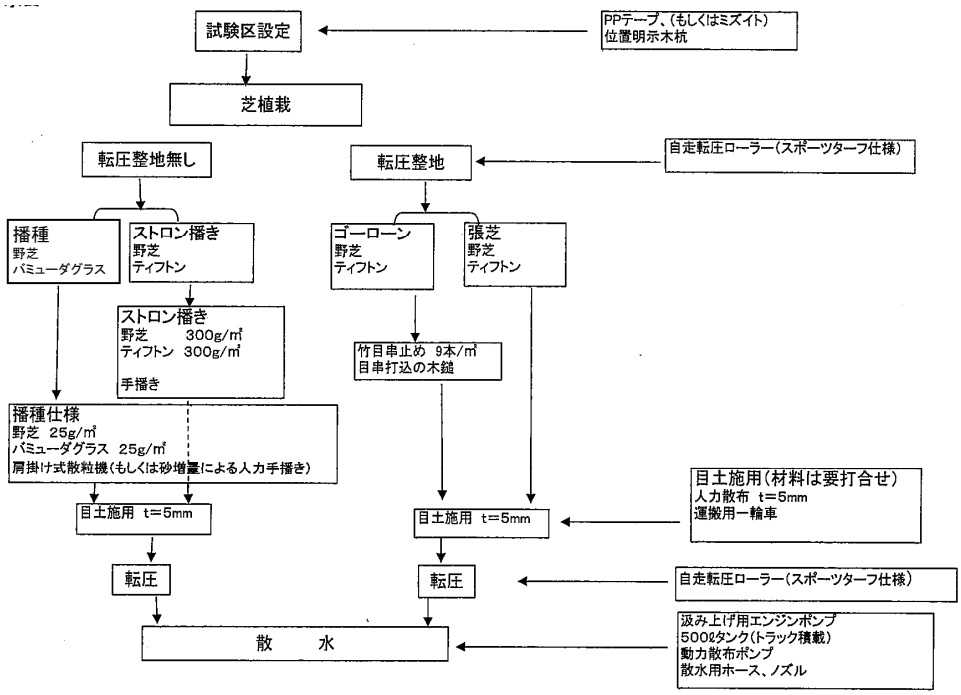



図 付 3.9　サイト 2 及び 3 における作業手順

図 付 3.10　サイト 2 での作業風景（1/3）

図 付 3.10　サイト 2 での作業風景（2/3）

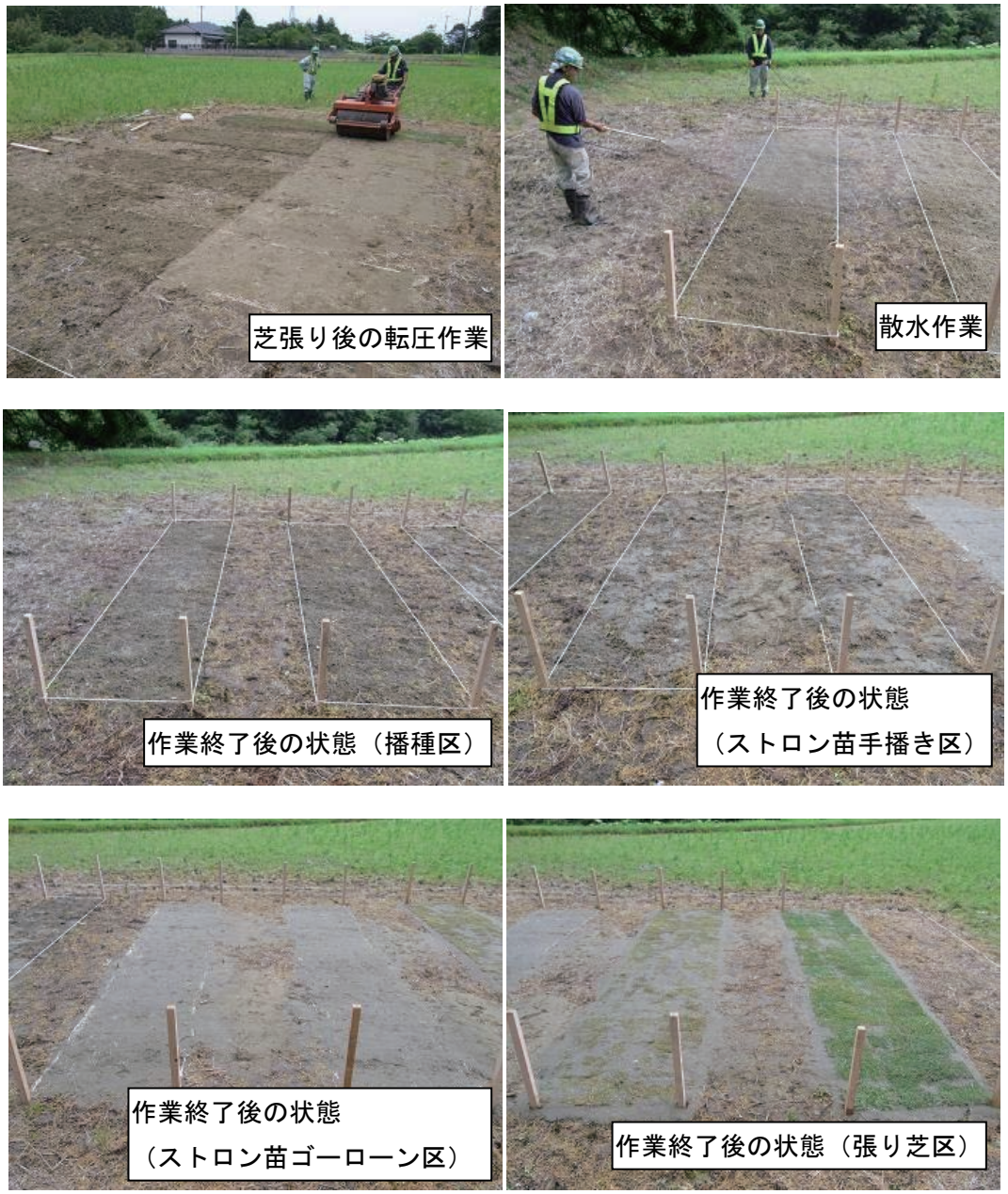



図 付 3.10　サイト 2 での作業風景（3/3）

作業風景（サイト 3）

図 付 3.11　サイト 3 での作業風景（1/3）

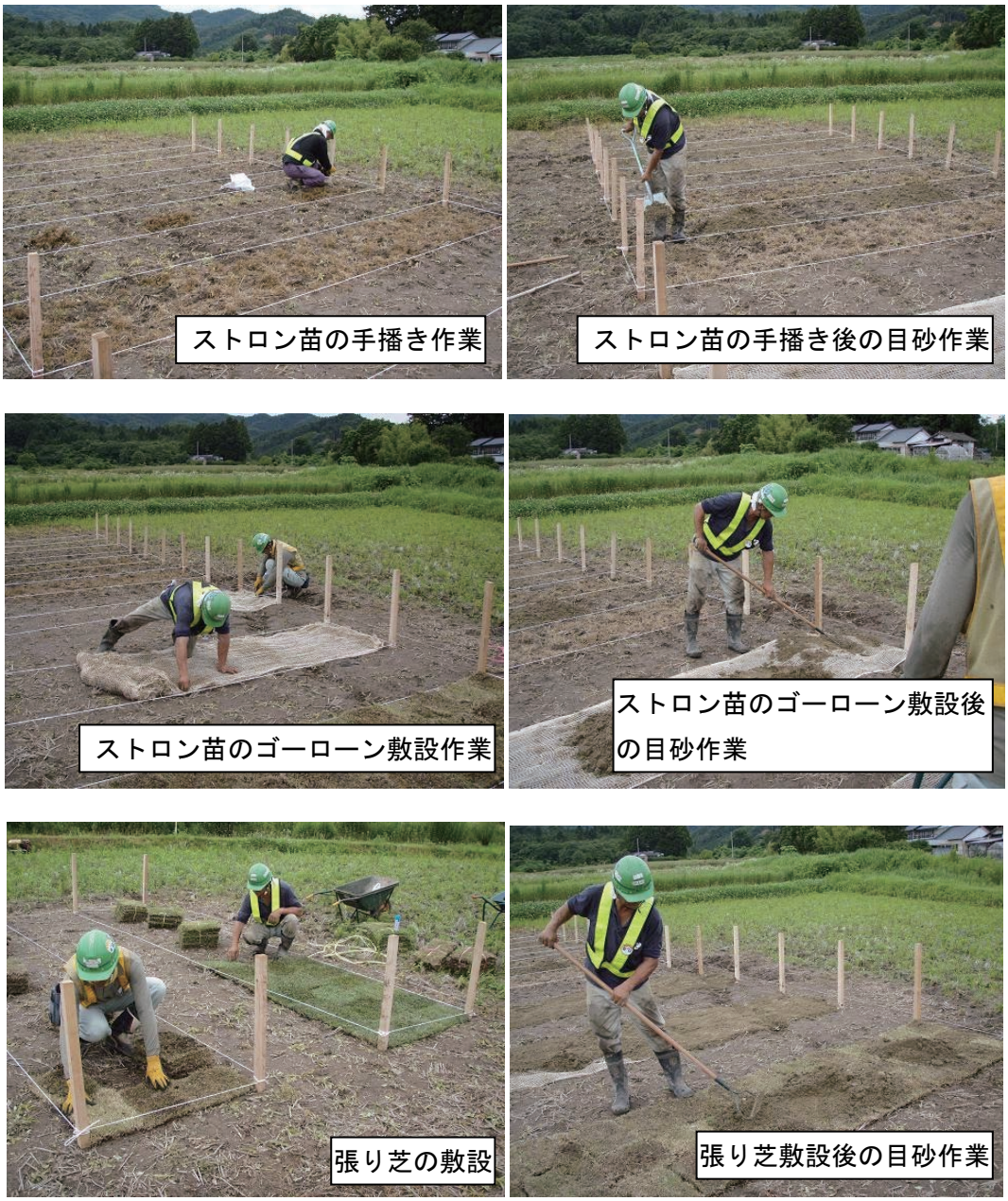



図 付 3.11　サイト 3 での作業風景（2/3）

図 付 3.11　サイト 3 での作業風景（3/3）

付録 4　除染効果の評価方法について

1.　試料採取と分析

1.1　試料採取方法及び分析方法の検討

芝地造成による農地除染の効果として、以下の２点を把握することとした。

i）芝草への吸収による除染効果

ii）芝草の剥ぎ取りによる除染効果

1.2　検討の前提

芝草、土壌等の試料採取と分析方法の検討にあたっては、以下に留意した。

・現地状況調査や放射性セシウム濃度分布測定結果から、農地の凸凹等によりセシウム沈着量は不均一で、１桁程度の濃度ばらつきがあることを考慮する必要がある。

・芝草の剥離は、一般的に行われている作業方法、あるいはそれと同様の剥離条件を適用する必要がある。

・剥離した芝草へのセシウム取り込み割合、芝草とともに剥離された表土のセシウム割合は、剥離後の土壌中セシウム残存割合も含め、植栽エリアにおける代表性を担保するため、芝草・土壌の採取と分析は“面”として捉えることが適切である。

1.3　植栽エリアの剥離と芝草・土壌の採取

一般的に行われている芝草の剥離作業では、ソッドカッターが使用されている。ここでは、ソッドカッター（図 付 4.1）による剥離を適用した場合について「ii）芝草の剥ぎ取りによる除染効果」を検討する。また、「i）芝草への吸収による除染効果」については、ホールカッター（図 付 4.2）を用いた分析用試料の採取を検討した。

(1)ホールカッターによる試料採取の方法

「i）芝草への吸収による除染効果」を把握するため、以下の手順で試料採取を行う。

① 植栽エリアにおいて、サンプリングポイントを 3 ヶ所選定する。

② 1 ヶ所目のサンプリングポイントで、ホールカッターを用いて 5cm 深度の土を採取し、バットに移す。

③ 表面から芝草の根が侵入した部分（3cm）までをカッターで切断し、作業用バットに移す。

④ 作業用バット内で、アイスピック、ブラシ等を用いて芝草と土を分離する。

⑤ 芝草の根に付着する土を水洗して除去する。

⑥ 分離した芝草の全量を放射能測定用の 90φ亀甲容器に封入する。

⑦ 分離した土の必要量を放射能測定用の 60φまたは 90φ亀甲容器に封入する。

⑧ １つの植栽エリアについて、①～⑥を３ヶ所実施する。

サイト１における試料採取方法の概念図を図 付 4.3 に、サイト 2 及びサイト 3 における試料採取方法の概念図を図 付 4.4 に示す。

(2)ソッドカッターで剥離した場合の試料採取の方法

「ii）芝草の剥ぎ取りによる除染効果」を把握するため、以下の手順で試料採取を行う。

① 植栽エリアをソッドカッターで剥離する（一般的な土の剥離厚さ：3～4cm）。

② 剥離した芝草マットの任意の 3 カ所から、50φの試料を抜き取り、放射能測定用の 90φ亀甲容器に封入する。

③ 植栽エリアにおける芝草の採取位置（上記 10cm×10cm 面の位置）を特定する。

④ 剥離した芝草マット取り除いた植栽エリアの任意の 3 カ所から、50φの残土試料を約 3cm 深度抜き取り、放射能測定用の 90φ亀甲容器に封入する。

サイト 2 及びサイト 3 における試料採取方法の概念図を図 付 4.5 に示す。

(3)サイト 1、2 及び 3 における採取試料

サイト 1､2 及び 3 における採取試料数を以下に示す｡また､試料の ID 番号を表 1～表 3 に示す。

①サイト 1

ホールカッター（芝草）：6 植栽エリア×3 ヶ所＝18 サンプル（90φ亀甲容器）

ホールカッター（土）：6 植栽エリア×3 ヶ所×3 試料/ヶ所＝54 サンプル（60φ亀甲容器）

※表面汚染の著しいサイト 1 では、ソッドカッターによる試料採取を実施しない。

②サイト 2

ホールカッター（芝草）：8 植栽エリア×3 ヶ所＝24 サンプル（90φ亀甲容器）

ホールカッター（土）：8 植栽エリア×3 ヶ所＝24 サンプル（90φ亀甲容器）

ソッドカッター（芝草マット）：4 植栽エリア＝4 サンプル（90φ亀甲容器）

ソッドカッター（残土）：4 植栽エリア＝4 サンプル（90φ亀甲容器）

※ただし、A～H の 8 植栽エリアのうち、芝草が枯れた、あるいは芝草の根が成長していない B、C、D、F の 4 植栽エリアについては、ソッドカッターによる試料採取を実施しない。

③サイト 3

ホールカッター（芝草）：8 植栽エリア×3 ヶ所＝24 サンプル（90φ亀甲容器）

ホールカッター（土）：8 植栽エリア×3 ヶ所＝24 サンプル（90φ亀甲容器）

ソッドカッター（芝草マット）：4 植栽エリア＝4 サンプル（90φ亀甲容器）

ソッドカッター（残土）：4 植栽エリア＝4 サンプル（90φ亀甲容器）

※ただし、A～H の 8 植栽エリアのうち、芝草が枯れた、あるいは芝草の根が成長していない B、D、F、H の 4 植栽エリアについては、ソッドカッターによる試料採取を実施しない。

### 1.4 試料の調整と放射能分析

① 乾燥、篩い分け等の処理は行わない。

② 亀甲容器に採取した芝草、土試料の重さを測る。

③ 採取した芝草、土試料を封入した亀甲容器をビニール袋に密閉する。

④ Ge 半導体検出器で、容器ごとの Cs-134、Cs-137 の放射能量（Bq）を分析する。

## 2. 放射性セシウムの除染効果の評価

### 2.1 評価の考え方

「i) 芝草への吸収による除染効果」は、ホールカッターで採取した試料について、面当たりの芝草へ吸収される放射性セシウムの割合として評価する。

サイト 1 についての分析結果からの除染効果の算出は、以下の評価式による。

芝草に吸収されるCsの割合（%）（除染効果）

$$= \frac{\text{芝草に吸収した放射性Cs量(Bq)}}{\text{芝草に吸収した放射性Cs量(Bq)} + \underline{\sum\text{表土に残留する放射性Cs量(Bq)}} \times 5} \times 100$$

サイト1では、ホールカッターで採取した10cmφ×3cmコアから、3個の60φの亀甲容器へ土を採取し、放射性Csを分析している。ここは、3個の試料に含まれる放射性Csの総量に相当する。
（例えば、エリアAの採取位置No.1については、試料3点の放射性Csの合計：A1−11+A1−12+A1−13となる）

$$※土の分析量 = \frac{\text{採取した土の体積}:3\text{cm} \times 3\text{cm} \times \pi \times \underbrace{0.5\text{cmH}}_{\text{（圧密を考慮）}} \times 3\text{点}}{\text{土の全体積}:\underbrace{5\text{cm} \times 5\text{cm} \times \pi \times 3\text{cmH}}_{\text{（10cmφ×3cmコア）}}} = \text{約}1/5$$

ここで、60φ亀甲容器の3検体に採取した土の合計量は、体積分率で土の全量の約1/5に相当する。これは、土の重量測定の結果とも概ね一致する。

サイト2及び3についての分析結果からの除染効果の算出は、以下の評価式による。

芝草に吸収されるCsの割合（%）（除染効果）

$$= \frac{\text{芝草に吸収した放射性Cs量(Bq)}}{\text{芝草に吸収した放射性Cs量(Bq)} + \text{表土に残留する放射性Cs量(Bq)} \times 2} \times 100$$

一方、「ii）芝草の剥ぎ取りによる除染効果」は、ソッドカッターで採取した試料について、面当たりのマットとともに除去される放射性セシウムの割合として評価する。また、分析結果からの除染効果の算出は、以下の評価式による。

$$\text{マットとともに除去されるCsの割合（%）（除染効果）} = \frac{\text{マットの放射性Cs量（Bq）}}{\text{マットの放射性Cs量（Bq）} + \text{残土の放射性Cs量（Bq）}} \times 100$$

図 付 4.1　ソッドカッター

図 付 4.2　ホールカッター

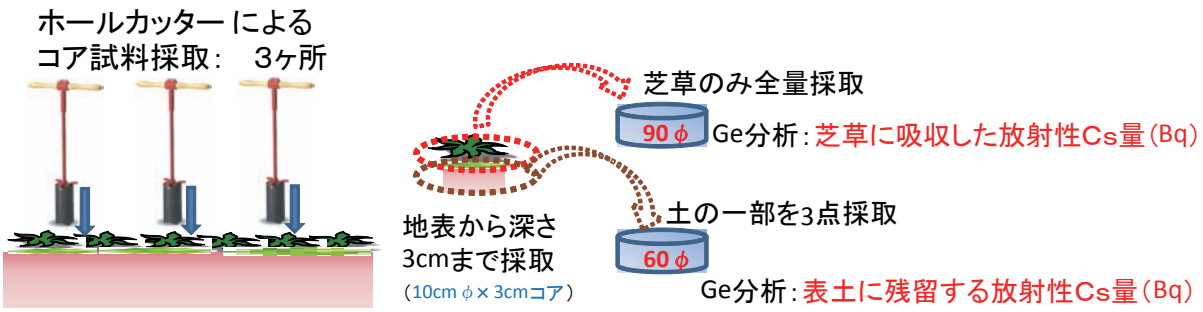



図 付 4.3　ホールカッターによる試料採取：サイト 1

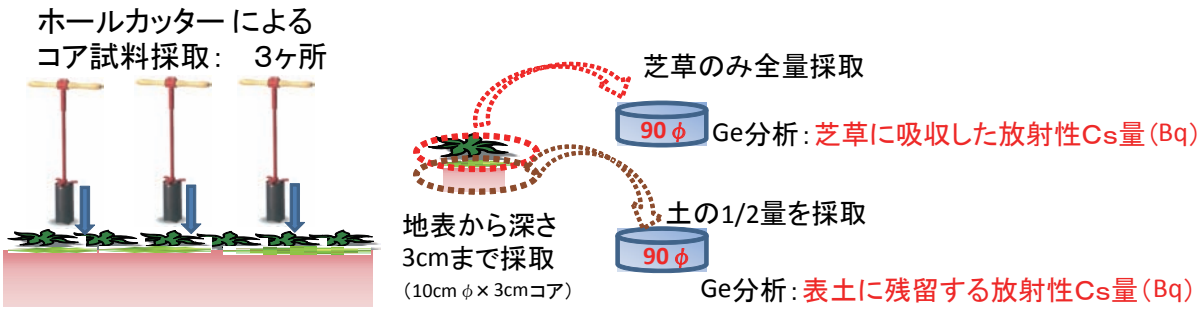



図 付 4.4　ホールカッターによる試料採取：サイト 2 及びサイト 3

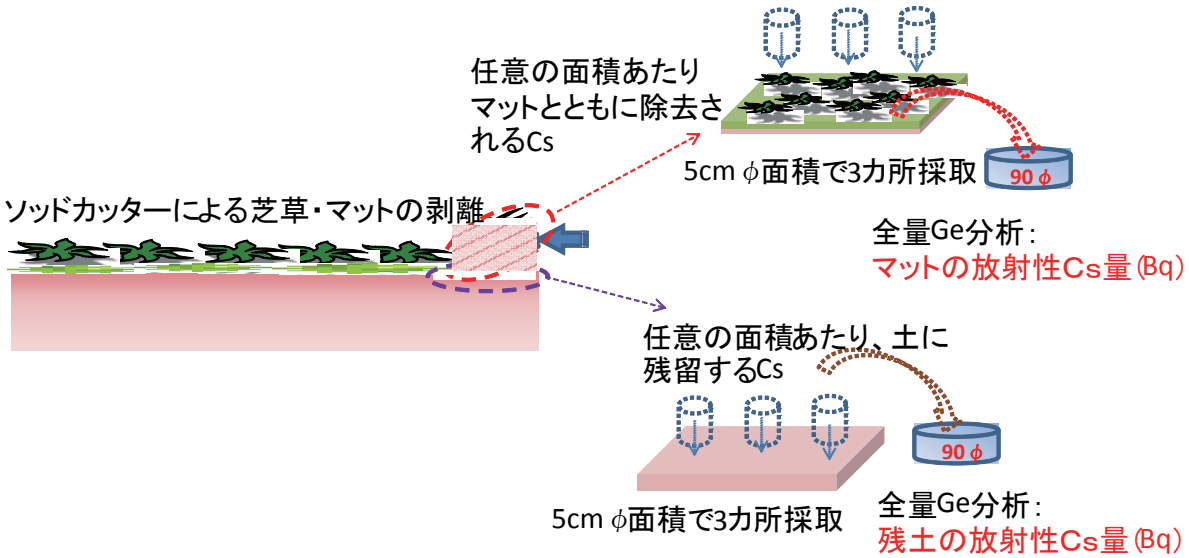



図 付 4.5　ソッドカッターによる試料採取：サイト 2 及びサイト 3

## 付録 5　農地におけるフォールアウト放射性セシウムの存在形態の分析方法について

福島県浪江町の畑地から採取した土壌に吸着している放射性セシウムの脱離実験を実施し、フォールアウト放射性セシウムの吸着形態と吸着メカニズムについて検討した。

土壌試料は、2011 年 10 月 13 日に福島県浪江町下津島の畑地表面（0～3 cm）から採取した（放射性セシウム濃度は Cs-134 が 80 Bq/g、Cs-137 が 100 Bq/g 程度）。土壌試料 3.0 g を 50 $cm^3$ ポリプロピレン容器に採取し、脱イオン水及び 4 種類の試薬 10 $cm^3$ と順次接触させて、土壌に吸着した放射性セシウムの逐次抽出を行った。抽出液は 3,000 rpm、10 分の遠心分離操作で土壌と分離した後、Ge 半導体検出器で Cs-137（ピークエネルギー : 662k eV）を分析した。抽出試薬と条件を以下に示す。抽出したセシウムの再分配を避けるため、カリウム塩試薬を使用した。

・1 段目の抽出：脱イオン水、室温で 168 時間（7 日間）

雨水や土壌水へ溶離する放射性セシウムフラクションを抽出する。

・2 段目の抽出：0.5 mol/$dm^3$ $CaCl_2$、室温で 24 時間

土壌粒子表面において、カルシウムイオンと交換可能な吸着形態にある放射性セシウムフラクションを抽出する。

・3 段目の抽出：0.5 mol/$dm^3$ KCl、室温で 24 時間

土壌に含まれる粘土鉱物層間に取り込まれた放射性セシウムをカリウムイオンと選択的に交換させ、粘土鉱物層間でイオン交換可能な形態にある放射性セシウムフラクションを抽出する。

・4 段目の抽出：pH2 に調節した 0.1 mol/$dm^3$ 塩酸ヒドロキシルアミン（$NH_2OH \cdot HCl$）と 0.1 mol/$dm^3$ のシュウ酸カリウム（K-oxalate）の混合溶液、室温で 24 時間

土壌に含まれるマンガン及び鉄の水酸化・酸化物を還元溶解することにより、これらと結合している放射性セシウムフラクションを抽出する。

・5 段目の抽出：0.1 mol/$dm^3$ KOH、室温で 24 時間

畑地に含まれる主要有機態である腐植物質およびアルカリ溶解性の鉱物を溶解することにより、これらと結合している放射性セシウムフラクションを抽出する。

・抽出残渣：

一連の抽出操作後の試料に残存する放射性セシウムを分析し、粘土鉱物層間等に固定されたとみなされる放射性セシウムフラクションを同定する。

参考情報

参考まで、土壌中における放射性セシウムの移行特性についての知見を簡単に整理した。

1. 放射性セシウムの土壌への収着特性

・土壌中における放射性物質の移行は、土壌への放射性物質の収着と土壌から地下水へ脱離した放射性物質の移流分散に基づくと考えられており、土壌への収着性が放射性セシウムの移行を抑制する因子である。

・放射性セシウムは土壌中ではセシウムイオンとして振る舞い、その化学的性質は同じアルカリ金属であるナトリウム（Na）イオン、カリウム（K）イオンと類似する。土壌を構成する物質の多くはその表面が負の電荷を帯びているため、正電荷を帯びたセシウムイオンを引きつけ、土壌の表面にとどめ、放射性セシウムの移行を抑制する。

・土壌中の Cs-137 の収着性を粘土、シルト、砂に分けて調べた例では、Cs-137 は主に粘土画分に存在し、時間の経過に伴い土壌により強く保持されることが知られている[1]。

・セシウムイオンはある種の粘土鉱物にきわめて強く「固定」され、他の陽イオンによって簡単に置き換えることができなくなる。（バーミキュライト、クロライト、黒雲母などの土鉱物は薄いシート状の層が積み重なった構造であり、層と層の間にセシウムイオンを閉じ込める。この粘土鉱物は、セシウムイオンの他に、カリウムイオンやアンモニウム（$NH_4^+$）イオンも閉じ込めるが、結合力はセシウムイオンが最も強い。）

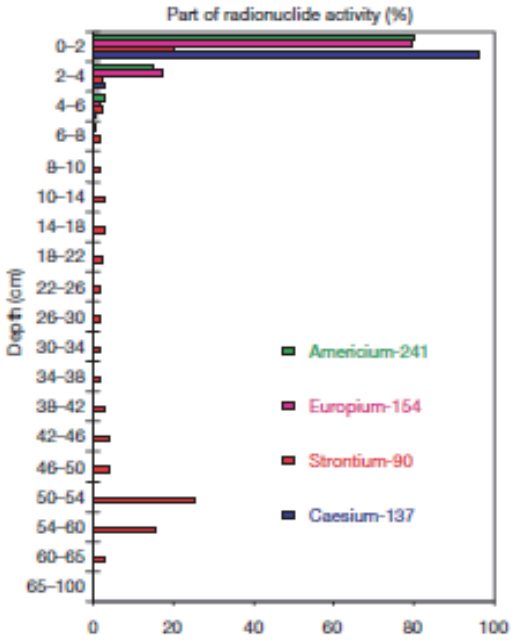
・一度セシウムイオンがこの場所に固定されると引き剥がすことは容易ではないが、上に述べたカリウムイオンや $NH_4^+$イオンが土壌に高い濃度で添加された場合、セシウムイオンを追い出すことができる。

・セシウムの収着性については、粒度、イオン交換容量、比表面積等土壌の特性との相関性が議論されることがあるが、結局は粘土鉱物の含有量に帰着されるといえる。

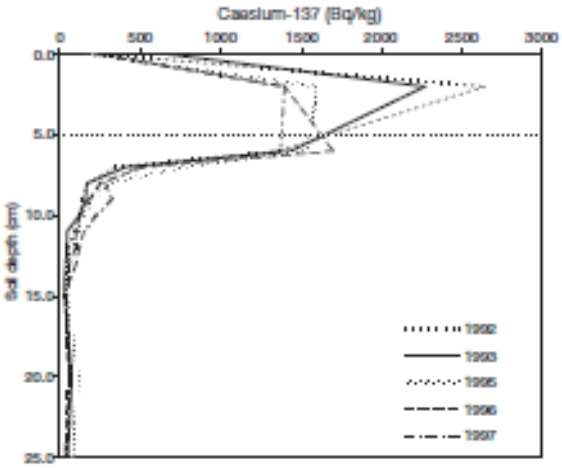
2. 環境中における放射性セシウムの移行特性

・カナダチョークリバー研究所では、放射性液体廃棄物のガラス固形化物を砂中に埋設し、数十年間にわたってガラス固形化物からの放射性物質の溶出と砂中の移行を観察した。埋設初期の 1 年間に微粒子状 Cs-137 の移行と推察される Cs-137 分布の広がりが認められたものの、1 年目以降は約 30 年経過しても移行の進展は起こらないことが観測されている。また、収着メカニズムの検討結果によれば、溶出した Cs-137 のほぼ全量が砂に固定されていることが確認されている[2]。

・2006 年に公開された IAEA の報告書によれば、チェルノブイリ事故後の環境における Cs-137 は、農地や森林において 10 年経過した後でも表層部に留まっていた（下図参照）。また、農地の Cs-137 を分析した結果、イオン交換性の Cs-137 は 2%程度であり、86%が粘土鉱物へ固定されている成分であった[3]。




1996 年における有機物含有量が低い砂質土中の放射性核種の深度分布[3]




松林における Cs-137 の深度分布[3]
（点線は有機態層と鉱物層の境界）

・降水量の多い日本の土壌においても、1960 年代の核実験に起因するフォールアウト放射性セシウムの環境動態が調査されている（例えば、[4]）。調査結果によれば、土質や地域によらず、放射性セシウムのほとんどは表層から数 10cm 以内に留まったままである。一方、放射性セシウムの極一部については、粒子状セシウムなどに起因するとされる上方、下方への移行現象も確認されている。

・東京電力福島第一原発事故以降の福島県内の土壌中における放射性セシウムの鉛直分布についても、放射性セシウムは表層部に留まっていることが確認されている。

・以上の実環境中における放射性セシウムの移行の観測結果は、実験室スケールで解明されてきたセシウムの移行特性（セシウムは速やかに土壌に収着し粘土鉱物に固定されるという特性、土壌微細粒子に収着した微粒子状セシウムは土壌間隙を移行しうるという特性（例えば、[5]））と整合している。

3. 放射性セシウムの土壌中移行に関する留意事項

・放射性セシウムは土壌中粘土鉱物に固定され、ほとんど移行しないが、その一方セシウムを固定した土壌微細粒子が土壌中を速く移動する現象も確認されている。放射性セシウムで標識された土壌微細粒子が土壌間隙を水と同等の速度で移動しうることを示す実験結果が報告されている（例えば、[6]）。また、表層土に収着した放射性セシウムは、降雨、乾燥等による攪乱を伴う風化作用によって、微粒子状セシウムの形成が促進される傾向も報告されている[7]。したがって、微粒子状セシウムの移行に対する考慮が、留

意事項としてあげられる。

・また、泥炭土壌に代表される極めて有機物含有量が高い土壌では、セシウムは高い移動性を示すことが知られており[3]、留意事項としてあげられる。

[1] H. Tsukada et al.: “Concentration and specific activity of fallout $^{137}$Cs in extracted and particle-size fractions of cultivated soils”, Journal of Environmental Radioactivity, 99, p.875-881 (2008).

[2] Y. Sakamoto et al.: “Migration behavior of Sr-90 and Cs-137 in a sand aquifer: Results of a 30-years experiment”, Proc. of 10th Pacific Basin Nuclear Conf. (10-PBNC), p.1343-1350 (1996).

[3] IAEA: “Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience”, Report of the Chernobyl Forum Expert Group ‘Environment’, (2006).

[4] T. Fukuyama and C. Takenaka: ”Upward mobilization of $^{137}$Cs in surface soils of *Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc. (hinoki) plantation in Japan“, The Science of the Total Environment, 318, p.187-195 (2004).

[5] Y. Ohtsuka and S. Takebe: “Migration Behavior of Radionuclides ($^{60}$Co, $^{85}$Sr and $^{137}$Cs) in Aerated Sandy Soil Layer. Difference of Migration Behavior and Desorption” Journal of Nuclear Science and Technology, 27, p.750-755 (1990).

[6] R.D. Whicker and S.A. Ibrahim: “Vertical migration of $^{134}$Cs bearing soil particles in arid soils: implications for plutonium redistribution”, Journal of Environmental Radioactivity, 88, p.171-188 (2006).

[7] T. Tanaka: “Evaluation of Wet and Dry Cycle Effects on Radionuclide Migration in Aerated Zone; Comparison between Laboratory Experiments and Field Tests”, JAERI-Review 96-005, p.26-31 (1996).

## 付録 6　試験サイトの放射能濃度深度分布（データ）について

表 付 6.1　土壌の放射能濃度（サイト 1　畑地）(1/4)

| 土壌深度 | 放射能濃度(Bq/g) | | |
|---|---|---|---|
| (cm) | I-131 | Cs-134 | Cs-137 |
| 0.5 | 3.69E+00 | 1.54E+02 | 1.90E+02 |
| 1.5 | 1.45E+00 | 4.00E+01 | 4.99E+01 |
| 2.5 | 3.75E-01 | 8.68E+00 | 1.07E+01 |
| 3.5 | 6.85E-02 | 1.41E+00 | 1.78E+00 |
| 4.5 | 2.62E-02 | 1.28E-01 | 1.90E-01 |
| 5.5 | | 1.31E-01 | 1.75E-01 |
| 6.5 | | 8.72E-02 | 1.29E-01 |
| 7.5 | | 9.59E-02 | 1.21E-01 |

試料採取：2011 年 5 月 19 日

測定：試料採取後、直ちに実施

表 付 6.1　土壌の放射能濃度（サイト 1　畑地）(2/4)

| 土壌深度 | 放射能濃度(Bq/g) | | |
|---|---|---|---|
| (cm) | I-131 | Cs-134 | Cs-137 |
| 0.5 | | 1.25E+02 | 1.66E+02 |
| 1.5 | | 3.78E+01 | 5.14E+01 |
| 2.5 | | 7.53E+00 | 1.06E+01 |
| 3.5 | | 1.12E+00 | 1.55E+00 |
| 4.5 | | 9.27E-02 | 1.45E-01 |
| 5.5 | | 6.79E-02 | 8.17E-02 |
| 6.5 | | <3.77E-02 | 6.39E-02 |
| 7.5 | | <3.30E-02 | <3.25E-02 |

試料採取：2011 年 5 月 19 日

測定：風乾後、9 月に実施

表 付 6.1　土壌の放射能濃度（サイト 1　畑地）(3/4)

| 土壌深度 | 放射能濃度(Bq/g) | | |
|---|---|---|---|
| (cm) | I-131 | Cs-134 | Cs-137 |
| 0.5 | | 7.66E+01 | 1.04E+02 |
| 1.5 | | 5.24E+01 | 7.25E+01 |
| 2.5 | | 7.96E+00 | 1.05E+01 |
| 3.5 | | 9.08E-02 | 1.81E-01 |
| 4.5 | | 1.23E-01 | 1.65E-01 |
| 5.5 | | <5.77E-02 | <6.96E-02 |
| 6.5 | | <5.18E-02 | <5.89E-02 |
| 7.5 | | <5.70E-02 | <6.27E-02 |

試料採取：2011 年 5 月 19 日

測定：風乾後、9 月に実施

表 付 6.1　土壌の放射能濃度（サイト 1　畑地）(4/4)

| 土壌深度 | 放射能濃度(Bq/g) | | |
|---|---|---|---|
| (cm) | I-131 | Cs-134 | Cs-137 |
| 0.5 | | 1.20E+02 | 1.62E+02 |
| 1.5 | | 2.24E+00 | 3.40E+00 |
| 2.5 | | 3.13E-01 | 4.49E-01 |
| 3.5 | | 1.69E-01 | 2.27E-01 |
| 4.5 | | 6.71E-02 | 1.17E-01 |
| 5.5 | | <4.03E-02 | <4.70E-02 |
| 6.5 | | <4.68E-02 | <5.18E-02 |
| 7.5 | | <5.53E-02 | <6.53E-02 |
| 8.5 | | <6.12E-02 | <6.55E-02 |
| 9.5 | | <4.68E-02 | <5.82E-02 |

試料採取：2011 年 5 月 19 日

測定：風乾後、9 月に実施

表 付 6.2　土壌の放射能濃度（サイト 2　畑地）

| 土壌深度 | 放射能濃度(Bq/g) | | |
|---|---|---|---|
| (cm) | I-131 | Cs-134 | Cs-137 |
| 0.5 | | 1.70E+01 | 2.11E+01 |
| 1.5 | | 4.28E+00 | 5.44E+00 |
| 2.5 | | 1.14E+00 | 1.35E+00 |
| 3.5 | 8.96E-02 | 6.28E-01 | 7.80E-01 |
| 4.5 | 5.12E-02 | 5.12E-01 | 6.82E-01 |
| 5.5 | | 5.45E-01 | 6.88E-01 |
| 6.5 | | 1.74E-01 | 2.36E-01 |
| 7.5 | | 1.50E-01 | 1.62E-01 |

試料採取：2011 年 5 月 19 日

測定：試料採取後、直ちに実施

表 付 6.3　土壌の放射能濃度（サイト 2　田地）(1/3)

| 土壌深度 | 放射能濃度(Bq/g) | | |
|---|---|---|---|
| (cm) | I-131 | Cs-134 | Cs-137 |
| 0.5 | 4.43E-01 | 2.66E+01 | 3.31E+01 |
| 1.5 | 1.32E-01 | 2.56E+00 | 3.17E+00 |
| 2.5 | | 1.19E+00 | 1.51E+00 |
| 3.5 | | 8.08E-01 | 9.75E-01 |
| 4.5 | | 2.18E-01 | 3.00E-01 |
| 5.5 | | 1.64E-01 | 2.41E-01 |
| 6.5 | | 2.16E-01 | 3.54E-01 |
| 7.5 | | 1.57E-01 | 1.96E-01 |

試料採取：2011 年 5 月 19 日

測定：試料採取後、直ちに実施

表 付 6.3　土壌の放射能濃度（サイト 2　田地）(2/3)

| 土壌深度 | 放射能濃度(Bq/g) | | |
|---|---|---|---|
| (cm) | I-131 | Cs-134 | Cs-137 |
| 0.5 | | 2.91E+01 | 3.87E+01 |
| 1.5 | | 3.13E+00 | 4.31E+00 |
| 2.5 | | 1.22E+00 | 1.66E+00 |
| 3.5 | | 8.22E-01 | 1.19E+00 |
| 4.5 | | 1.75E-01 | 3.18E-01 |
| 5.5 | | 1.33E-01 | 1.73E-01 |
| 6.5 | | 1.66E-01 | 2.12E-01 |
| 7.5 | | 1.24E-01 | 1.80E-01 |

試料採取：2011 年 5 月 19 日

測定：風乾後、9 月に実施

表 付 6.3　土壌の放射能濃度（サイト 2　田地）(3/3)

| 土壌深度 | 放射能濃度(Bq/g) | | |
|---|---|---|---|
| (cm) | I-131 | Cs-134 | Cs-137 |
| 0.5 | | 2.81E+01 | 3.70E+01 |
| 1.5 | | 1.60E+00 | 2.04E+00 |
| 2.5 | | 1.47E-01 | 1.98E-01 |
| 3.5 | | 5.98E-01 | 7.47E-01 |
| 4.5 | | <5.28E-02 | 1.11E-01 |
| 5.5 | | <4.14E-02 | <5.14E-02 |
| 6.5 | | <4.67E-02 | <5.10E-02 |
| 7.5 | | <3.73E-02 | <4.81E-02 |
| 8.5 | | <3.60E-02 | <4.12E-02 |
| 9.5 | | <3.25E-02 | <3.24E-02 |

試料採取：2011 年 5 月 19 日

測定：風乾後、9 月に実施

表 付 6.4　土壌の放射能濃度（サイト 3　畑地）

| 土壌深度 | 放射能濃度(Bq/g) | | |
|---|---|---|---|
| (cm) | I-131 | Cs-134 | Cs-137 |
| 0.5 | 1.39E-01 | 5.78E+00 | 7.15E+00 |
| 1.5 | 9.66E-02 | 4.25E+00 | 5.32E+00 |
| 2.5 | | 2.42E+00 | 3.08E+00 |
| 3.5 | | 1.23E-01 | 2.36E-01 |
| 4.5 | | 9.22E-02 | 1.86E-01 |
| 5.5 | | 1.52E-01 | 2.11E-01 |
| 6.5 | | 5.05E-02 | 1.23E-01 |
| 7.5 | | 3.92E-02 | 1.00E-01 |

試料採取：2011 年 5 月 19 日

測定：試料採取後、直ちに実施

表 付 6.5　土壌の放射能濃度（サイト 3　田地）(1/2)

| 土壌深度 | 放射能濃度(Bq/g) | | |
|---|---|---|---|
| (cm) | I-131 | Cs-134 | Cs-137 |
| 0.5 | 6.00E-01 | 2.99E+01 | 3.71E+01 |
| 1.5 | 2.18E-01 | 6.78E+00 | 8.69E+00 |
| 2.5 | | 1.33E+00 | 1.72E+00 |
| 3.5 | | 1.94E-01 | 2.78E-01 |
| 4.5 | | 1.28E-01 | 1.64E-01 |
| 5.5 | | 1.40E-01 | 2.00E-01 |
| 6.5 | | 9.83E-02 | 1.24E-01 |
| 7.5 | | 8.02E-02 | 1.07E-01 |

試料採取：2011 年 5 月 19 日

測定：風乾後、9 月に実施

表 付 6.5　土壌の放射能濃度（サイト 3　田地）(2/2)

| 土壌深度 | 放射能濃度(Bq/g) | | |
|---|---|---|---|
| (cm) | I-131 | Cs-134 | Cs-137 |
| 1.5 | | 2.82E+01 | 4.02E+01 |
| 2.5 | | 6.52E+00 | 9.07E+00 |
| 3.5 | | 1.44E+00 | 1.86E+00 |
| 4.5 | | 1.76E-01 | 2.94E-01 |
| 5.5 | | 8.00E-02 | 8.37E-02 |
| 6.5 | | <4.13E-02 | 9.14E-02 |
| 7.5 | | 3.59E-02 | 6.59E-02 |

試料採取：2011 年 5 月 19 日

測定：風乾後、9 月に実施

表 付 6.6　土壌の放射能濃度（サイト 3　田地）

| 土壌深度 | 放射能濃度(Bq/g) | | |
|---|---|---|---|
| (cm) | I-131 | Cs-134 | Cs-137 |
| 0.5 | | 1.53E+01 | 2.00E+01 |
| 1.5 | | 1.92E+00 | 2.58E+00 |
| 2.5 | | 3.75E-01 | 5.78E-01 |
| 3.5 | | 1.22E-01 | 2.51E-01 |
| 4.5 | | 1.38E-01 | 2.05E-01 |
| 5.5 | | 9.58E-02 | 1.94E-01 |
| 6.5 | | 7.98E-02 | 1.30E-01 |
| 7.5 | | 6.42E-02 | 1.21E-01 |
| 8.5 | | 7.78E-02 | 8.84E-02 |

試料採取：2011 年 8 月 29 日

測定：風乾後、9 月に実施

付録 7　農地におけるフォールアウト放射性セシウムの存在形態分析結果

| 抽出試薬 | 抽出フラクション | | | |
|---|---|---|---|---|
| | サイト 1<br>（畑地） | 海岸砂質土※ | 砂岩※ | 凝灰岩※ |
| 脱イオン水 | 0 % | 0.7 % | 0.2 % | 0.3 % |
| $CaCl_2$ | 1 % | 7.3 % | 1.5 % | 2.5 % |
| KCl | 7 % | 57.8 % | 33.1 % | 35.0 % |
| $NH_2OH$･HCl＋K-oxalate | 3 % | 8.4 % | 9.1 % | 9.0 % |
| KOH | 2 % | － | － | － |
| 残渣 | 87 % | 25.8 % | 56.1 % | 53.2 % |

※：試料に Cs-137 を吸着させた後、各試薬で逐次抽出を行った結果（KOH を用いた抽出は行っていない）

付録８　芝草の生育状況に係るデータ

1.　芝の育成状況の観察結果

サイト１（畑地）　　一区画　１ｍ×５ｍ

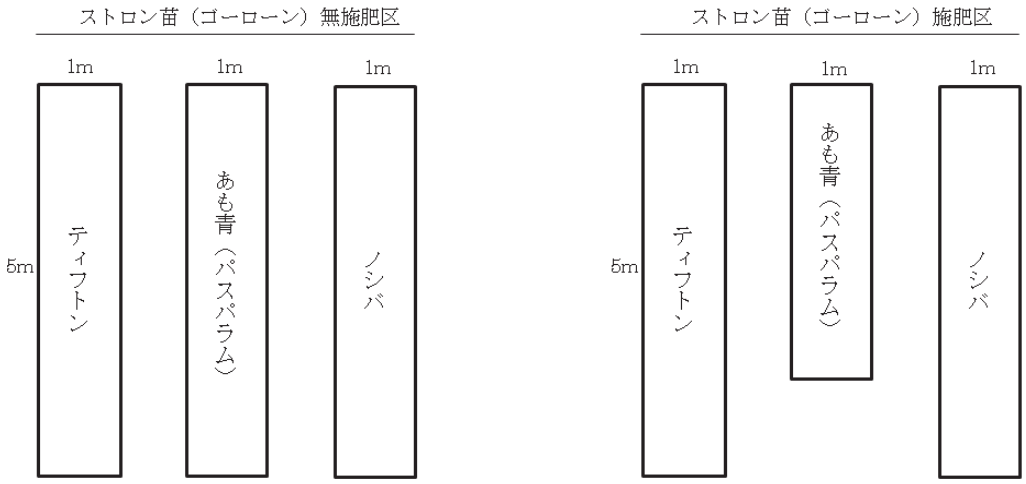
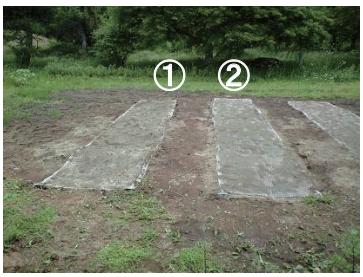


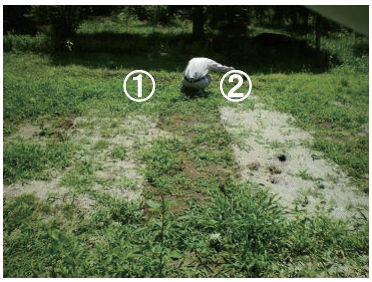

図 付 8.1　サイト１の試験区のアレンジメント（参考）

●芝張り施工後の状態
（7 月 8 日）




●施工後 2 週目の状態
（7 月 21 日）

●施工後 4 週目の状態
（8 月 5 日）

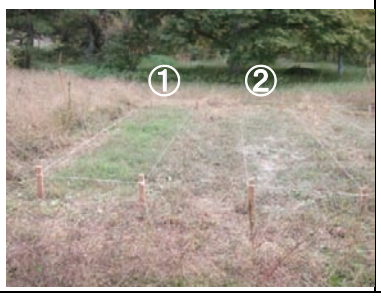



●施工後 7 週目の状態
（8 月 25 日　草刈り前）

●施工後 7 週目の状態
（8 月 25 日　草刈り後）

●施工後 9 週目の状態
（9 月 8 日）

●施工後 12 週目の状態
（9 月 30 日）




●施工後 14 週目の状態
（10 月 18 日）

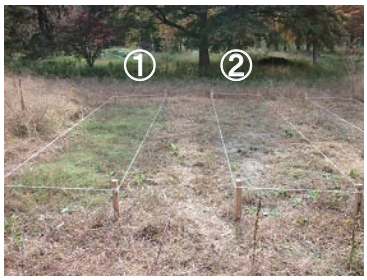



図 付 8.2　サイト 1　ストロン苗（ゴーローン）無施肥区　①ティフトン、②あも青（パスパラム）

①ティフトン

②あも青（パスパラム）

図 付 8.3　サイト 1　施工後 14 週目の状態（10 月 13 日）　詳細

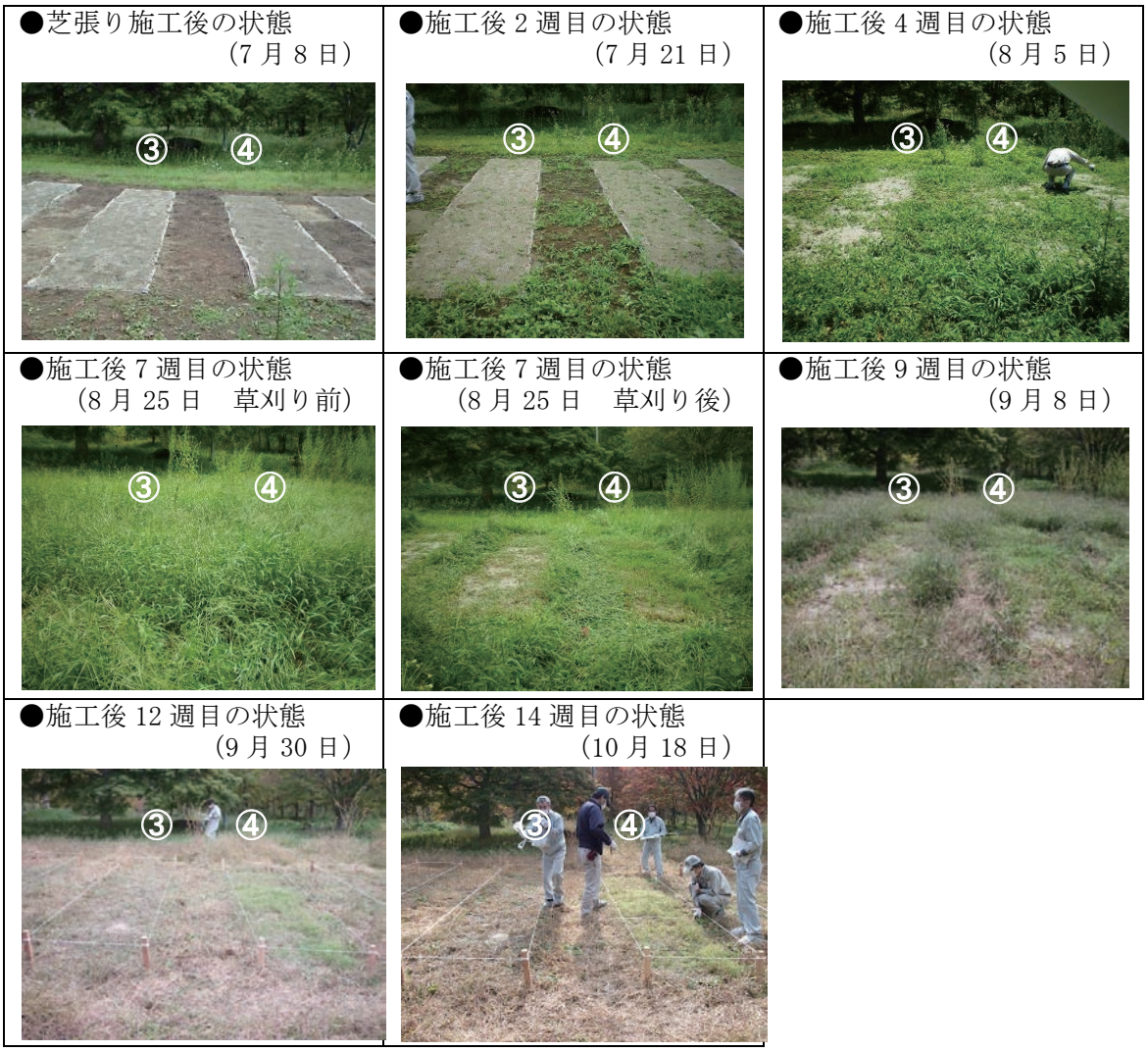



図 付 8.4　サイト 1　ストロン苗（ゴーローン）無施肥区　③ノシバ、施肥区　④ティフトン

図 付 8.5　サイト 1　施工後 14 週目の状態（10 月 13 日）　詳細

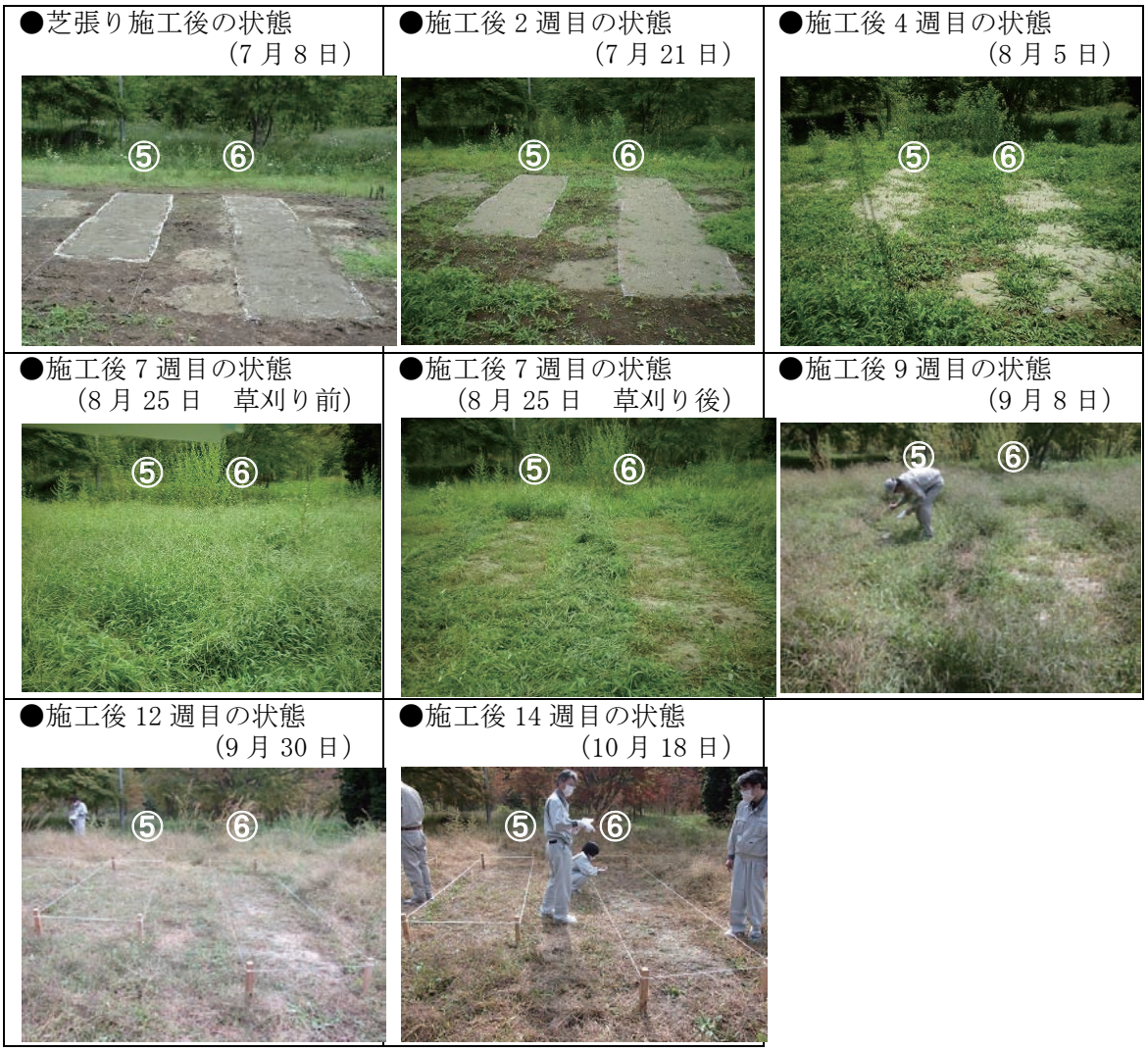



図 付 8.6　サイト 1　ストロン苗（ゴーローン）施肥区　⑤あも青（パスパラム）、⑥ノシバ

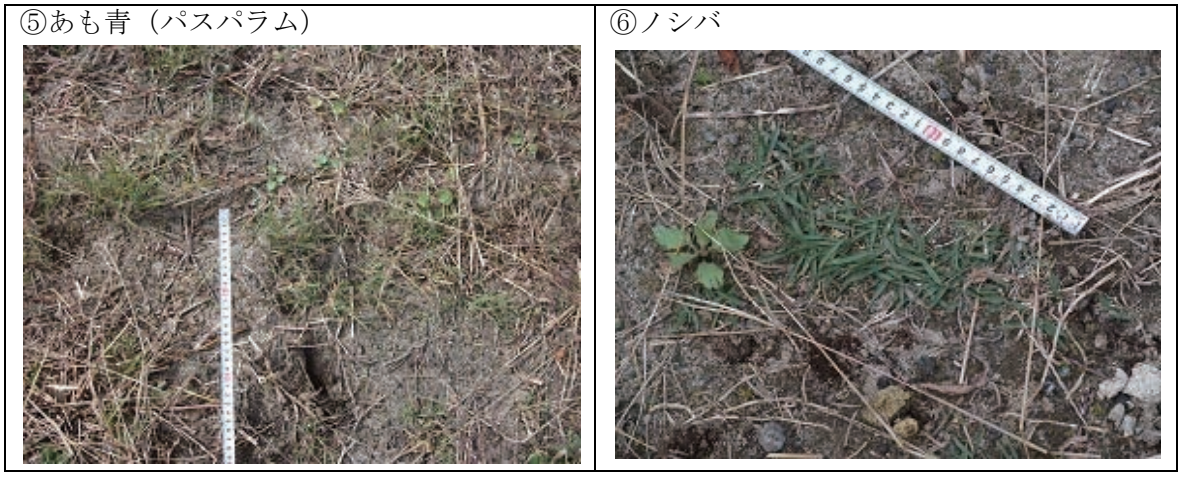



図 付 8.7　サイト 1　施工後 14 週目の状態（10 月 13 日）　詳細

サイト２（田地）　　一区画　１ｍ×５ｍ

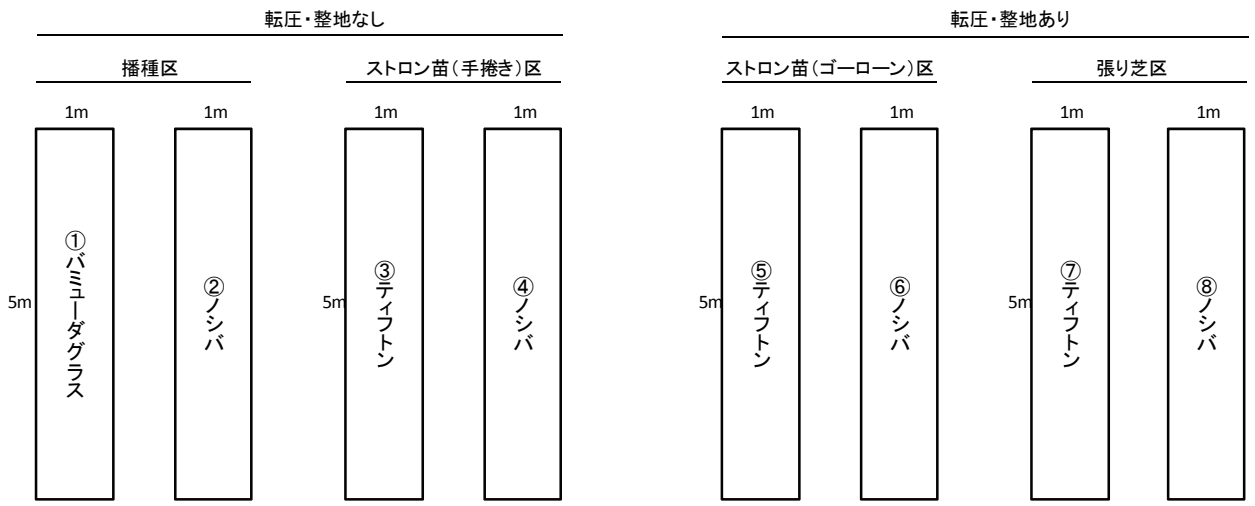



図 付 8.8　サイト 2 の試験区のアレンジメント（参考）

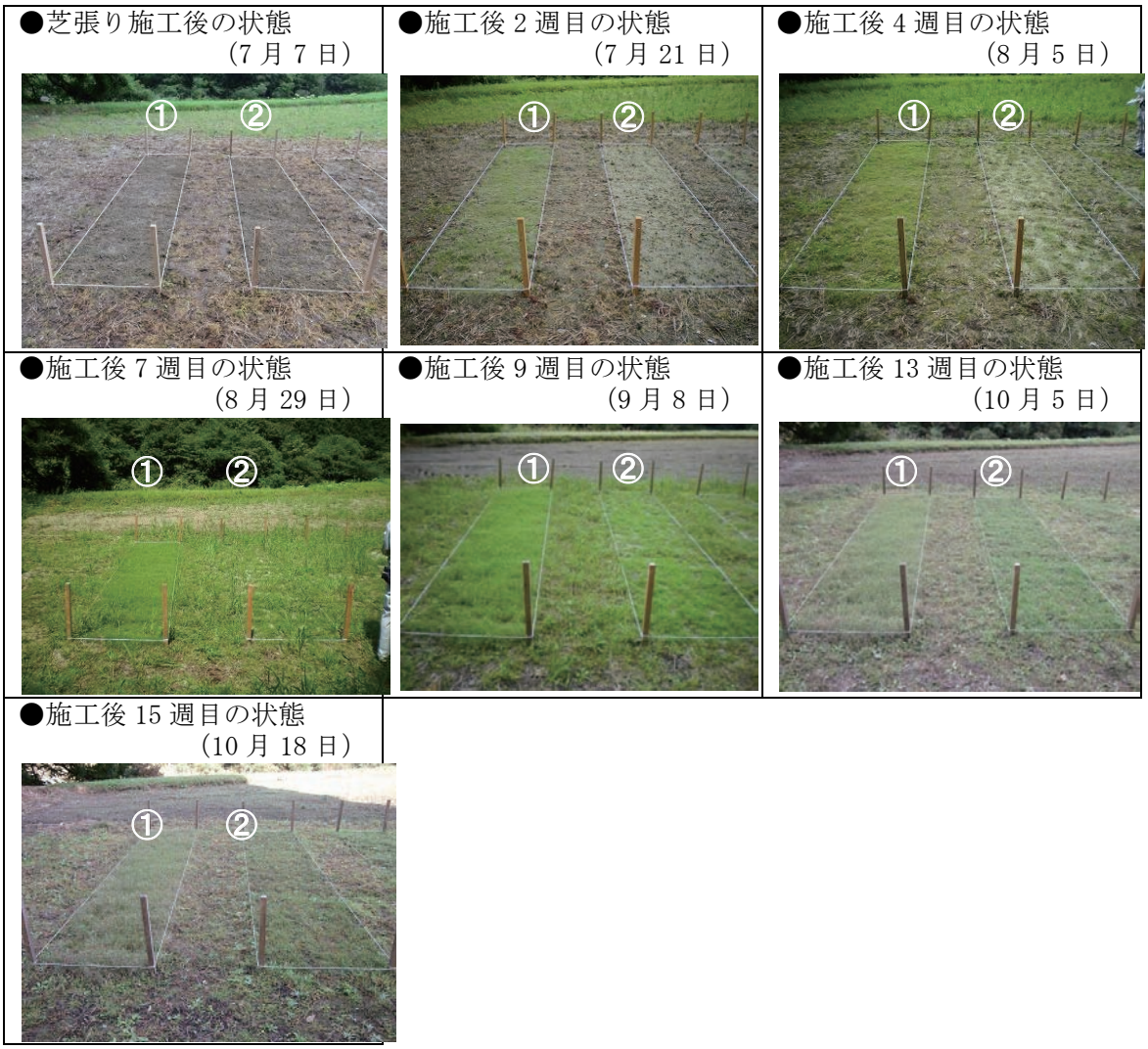



図 付 8.9　サイト 2　播種区　①バミューダグラス、②ノシバ

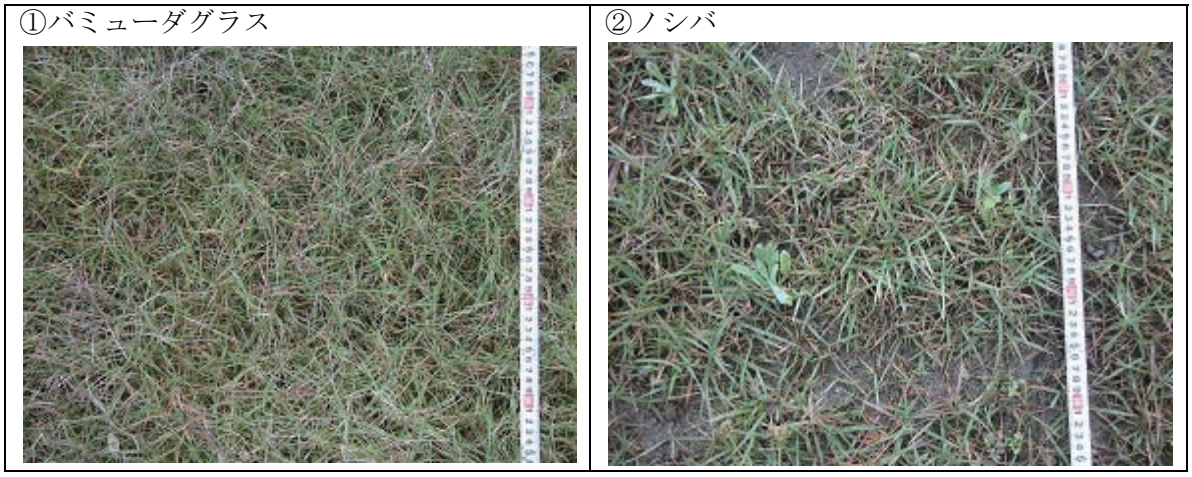



図 付 8.10　サイト 2　施工後 15 週目の状態（10 月 18 日）　詳細

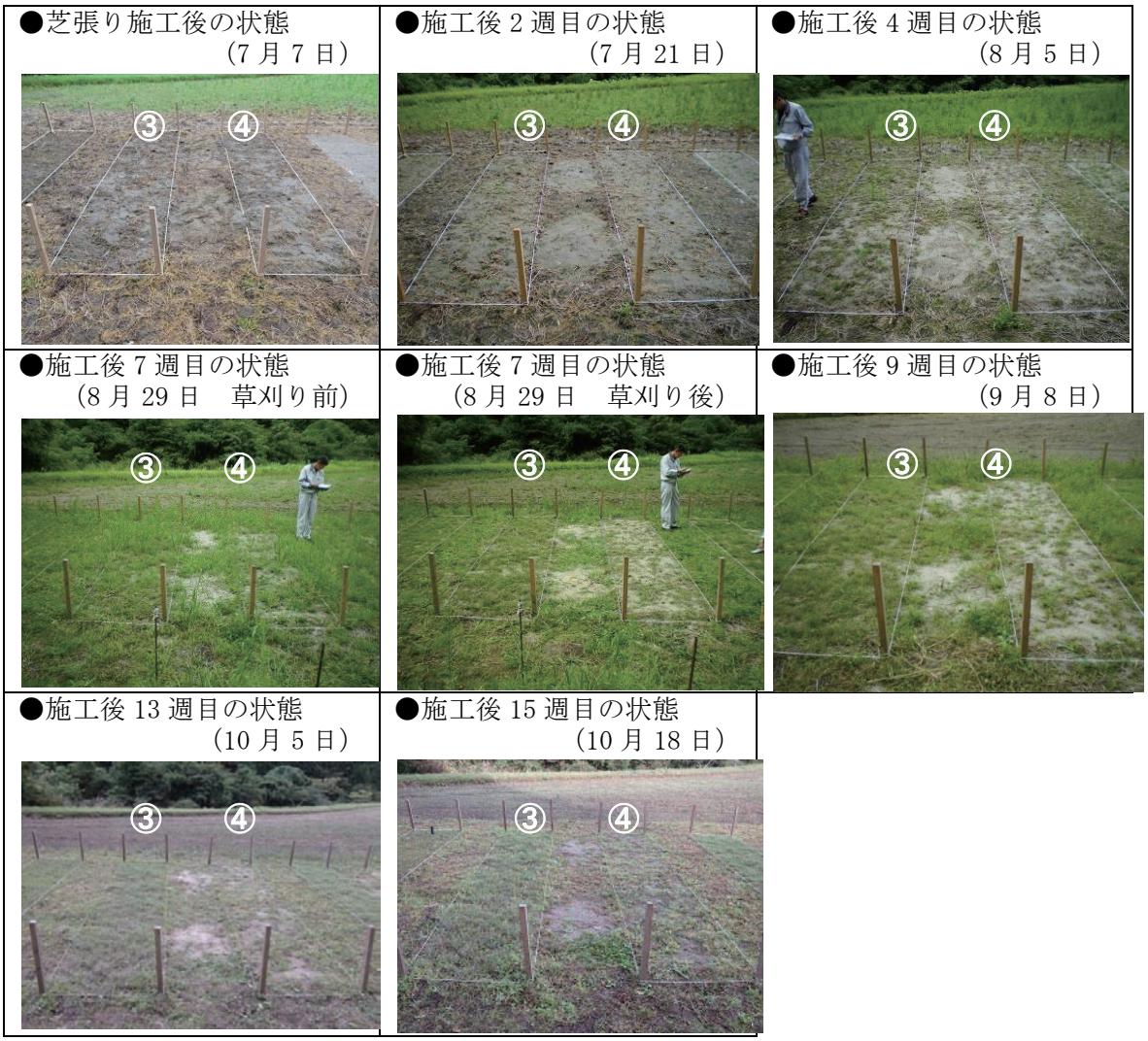



図 付 8.11　サイト 2　ストロン苗（手播き）区　③ティフトン、④ノシバ

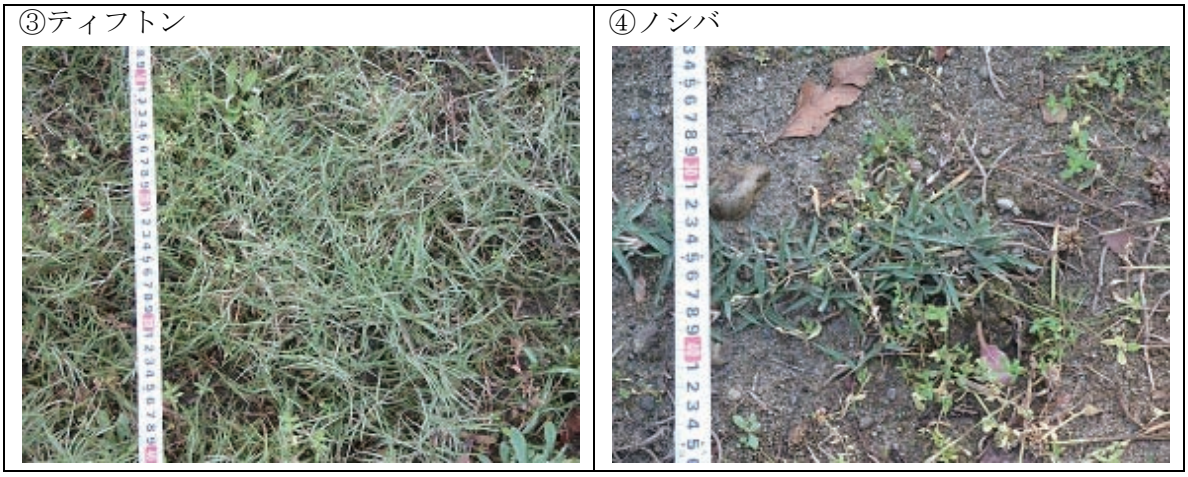



図 付 8.12　サイト 2　施工後 15 週目の状態（10 月 18 日）　詳細

図 付 8.13　サイト 2　ストロン苗（ゴーローン）区　⑤ティフトン、⑥ノシバ

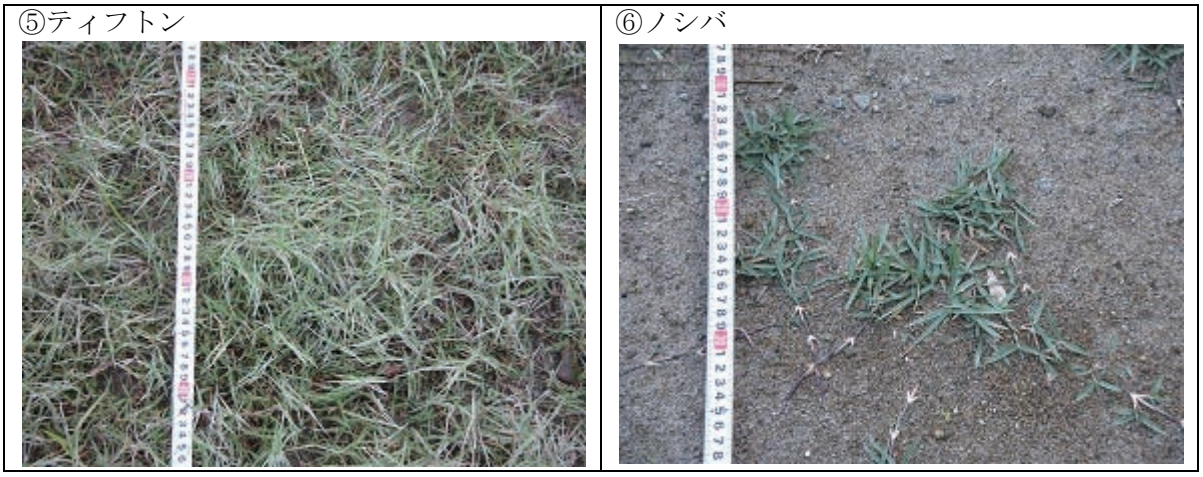



図 付 8.14　サイト 2　施工後 15 週目の状態（10 月 18 日）　詳細

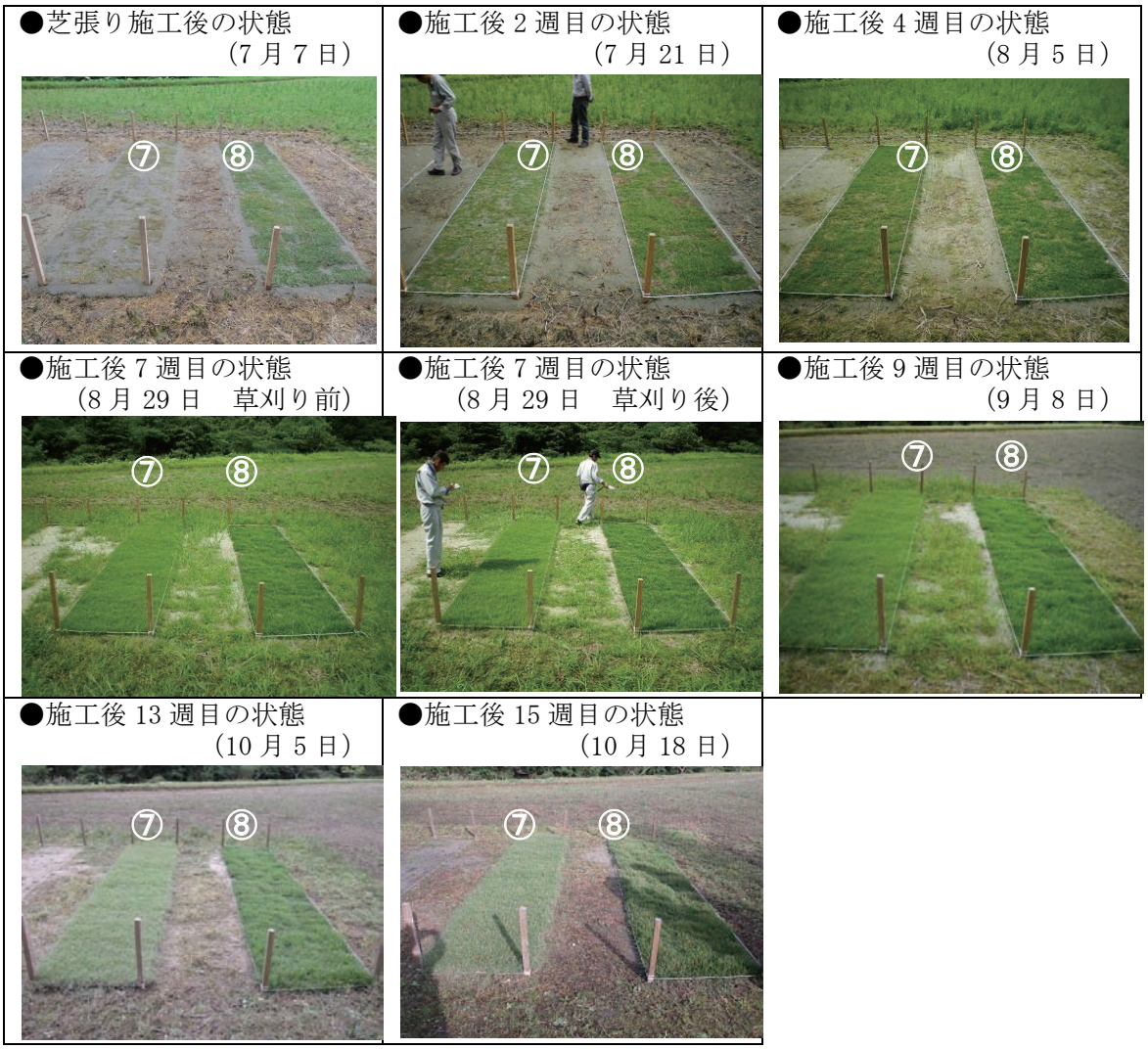



図 付 8.15　サイト 2　張り芝区　⑦ティフトン、⑧ノシバ

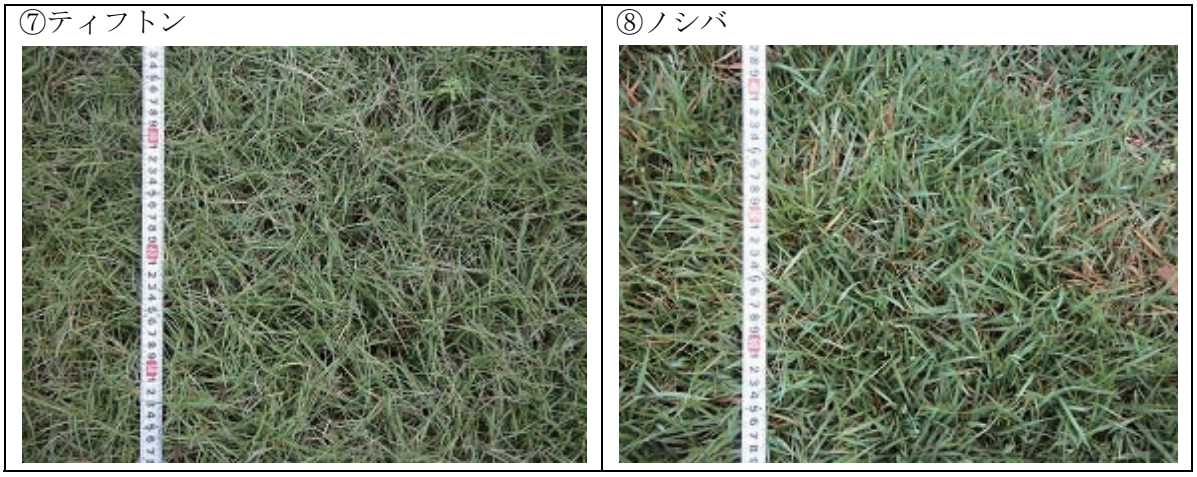



図 付 8.16　サイト 2　施工後 15 週目の状態（10 月 18 日）　詳細

サイト３（田地）　　一区画　１ｍ×５ｍ

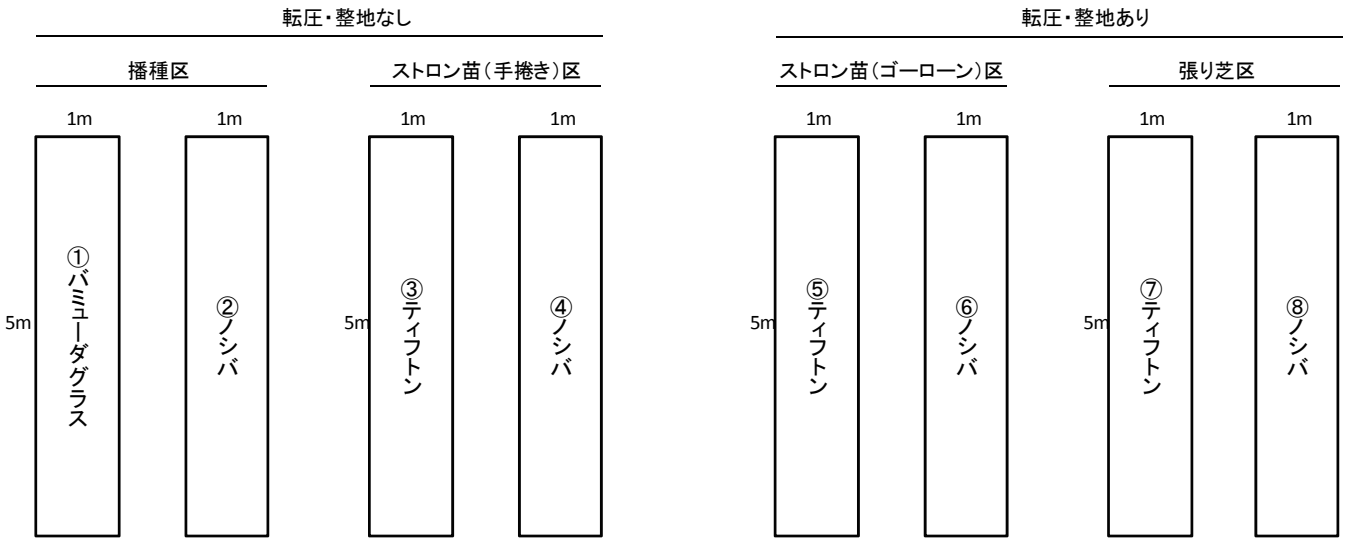



図 付 8.17　サイト 3 の試験区のアレンジメント（参考）

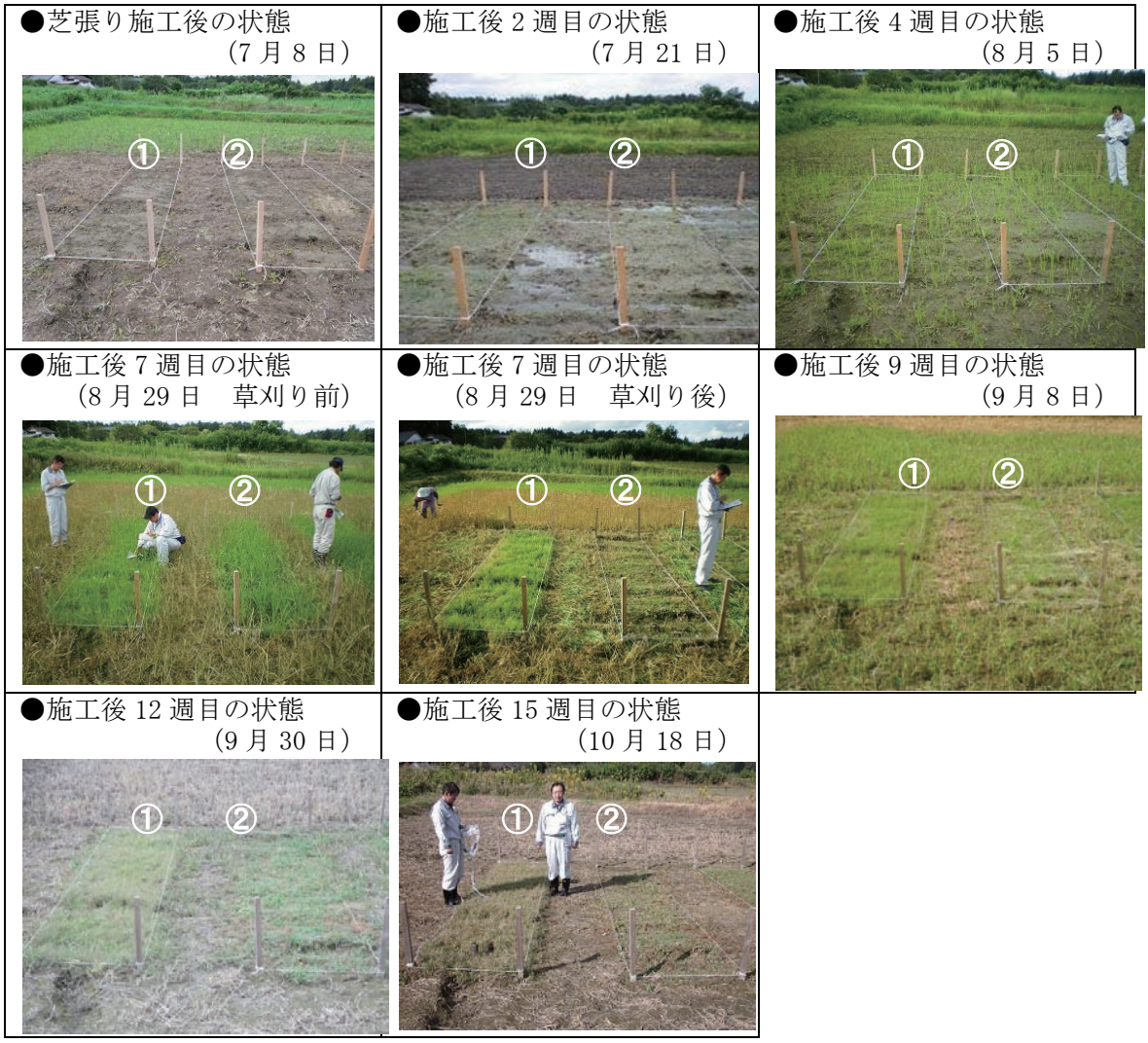



図 付 8.18　サイト 3　播種区　①バミューダグラス、②ノシバ

図 付 8.19　サイト 3　施工後 15 週目の状態（10 月 18 日）　詳細

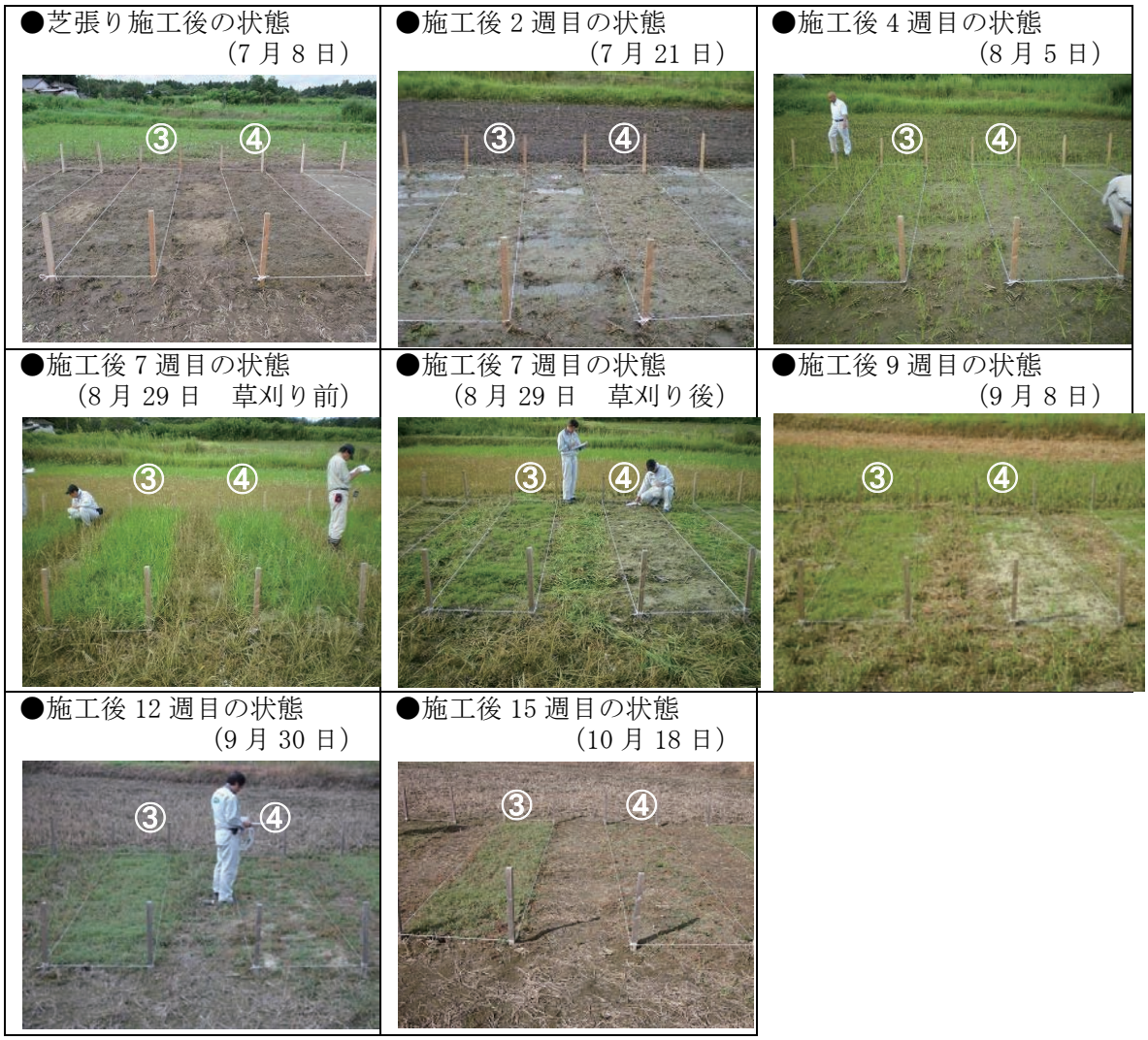



図 付 8.20　サイト 3　ストロン苗（手播き）区　③ティフトン、④ノシバ

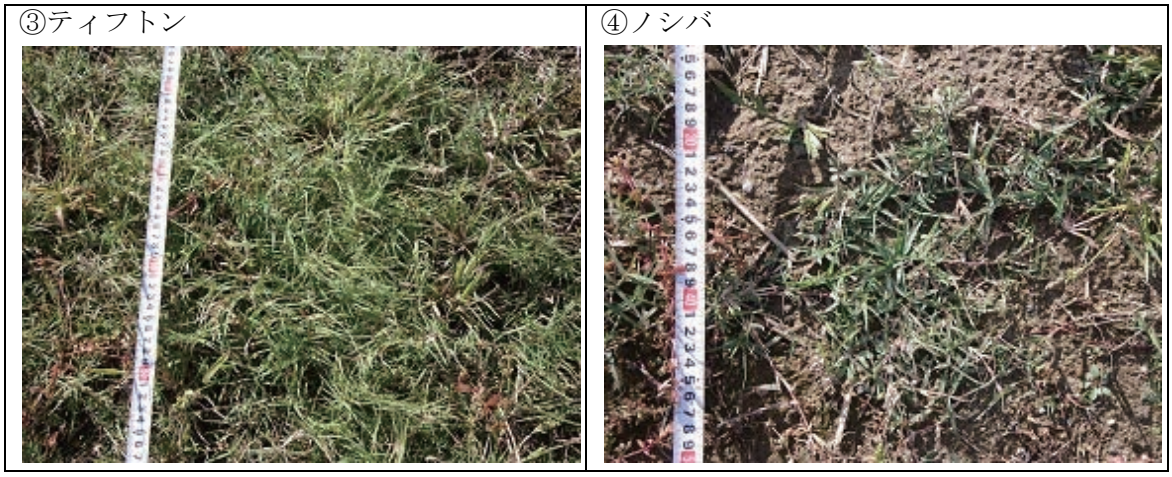



図 付 8.21　サイト 3　施工後 15 週目の状態（10 月 18 日）　詳細

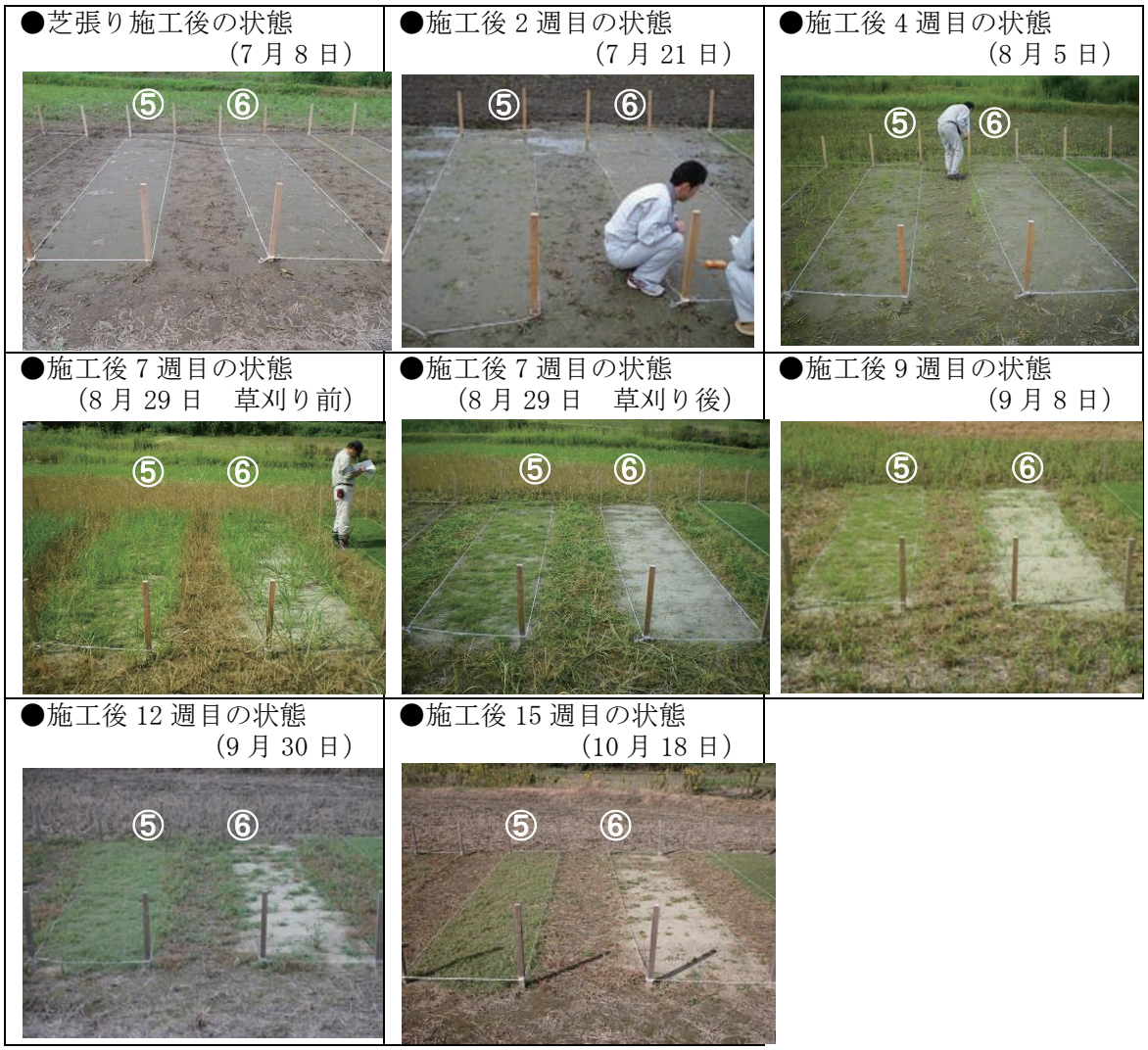



図 付 8.22　サイト 3　ストロン苗（ゴーローン）区　⑤ティフトン、⑥ノシバ

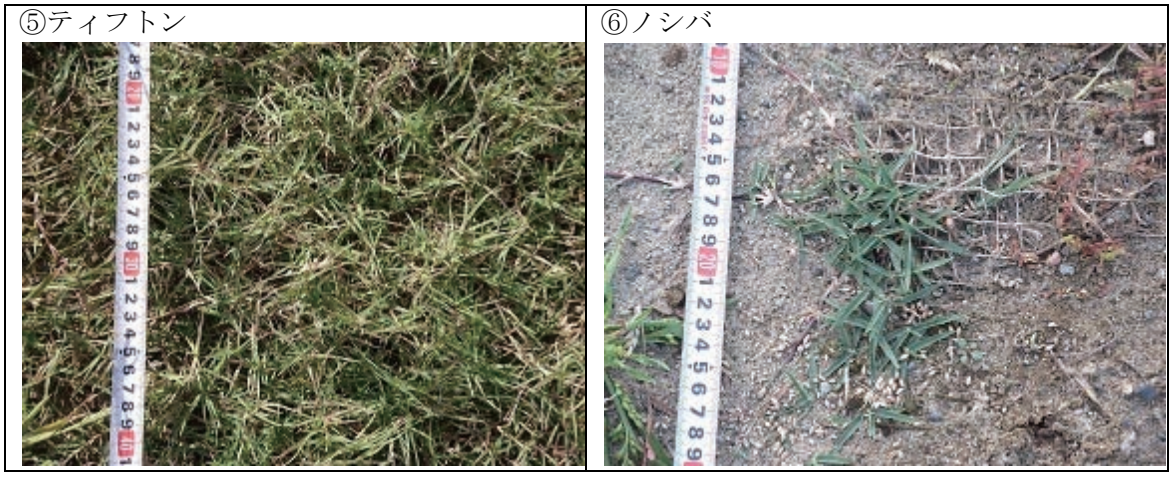



図 付 8.23　サイト 3　施工後 15 週目の状態（10 月 18 日）　詳細

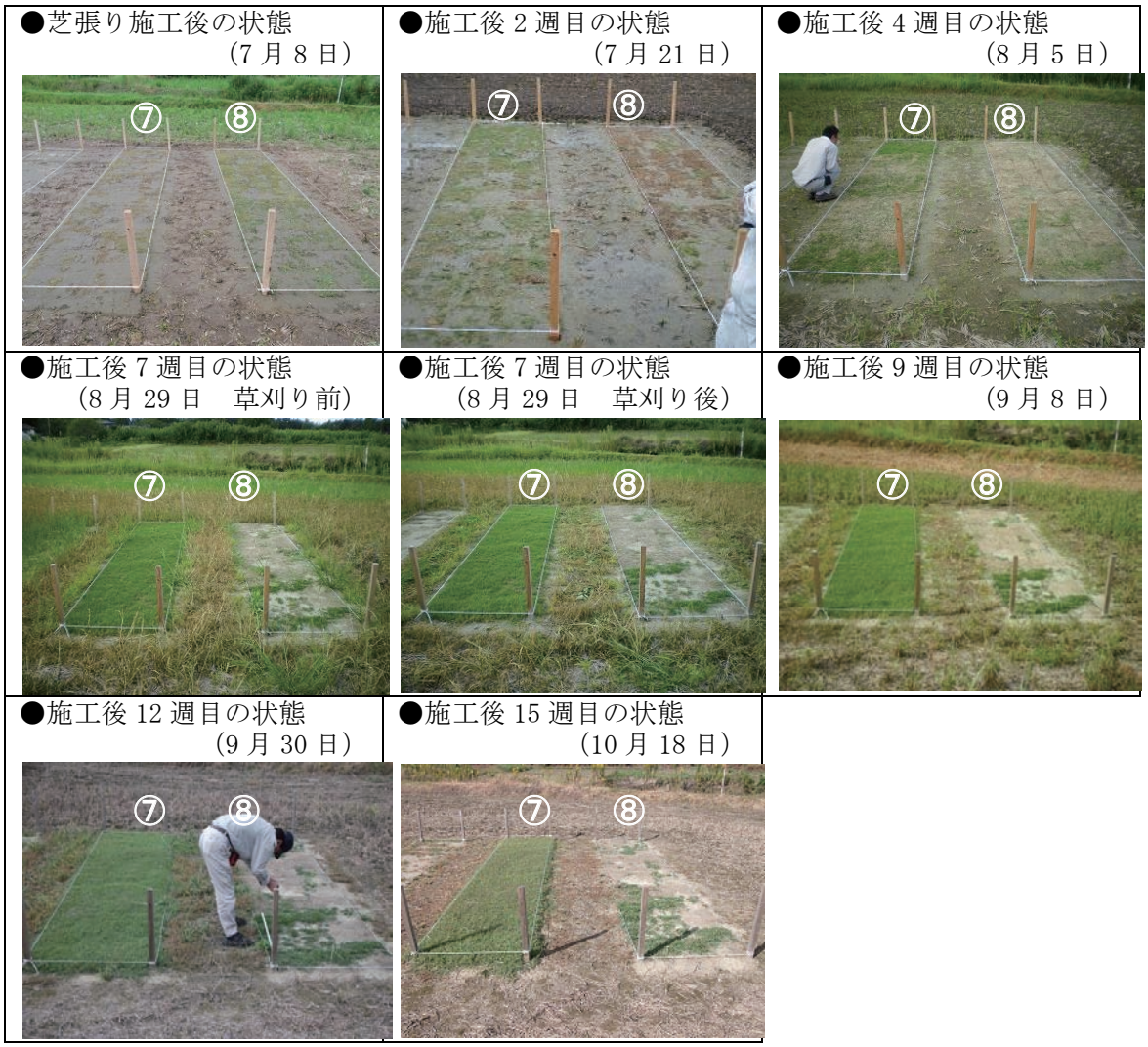



図 付 8.24　サイト 3　張り芝区　⑦ティフトン、⑧ノシバ

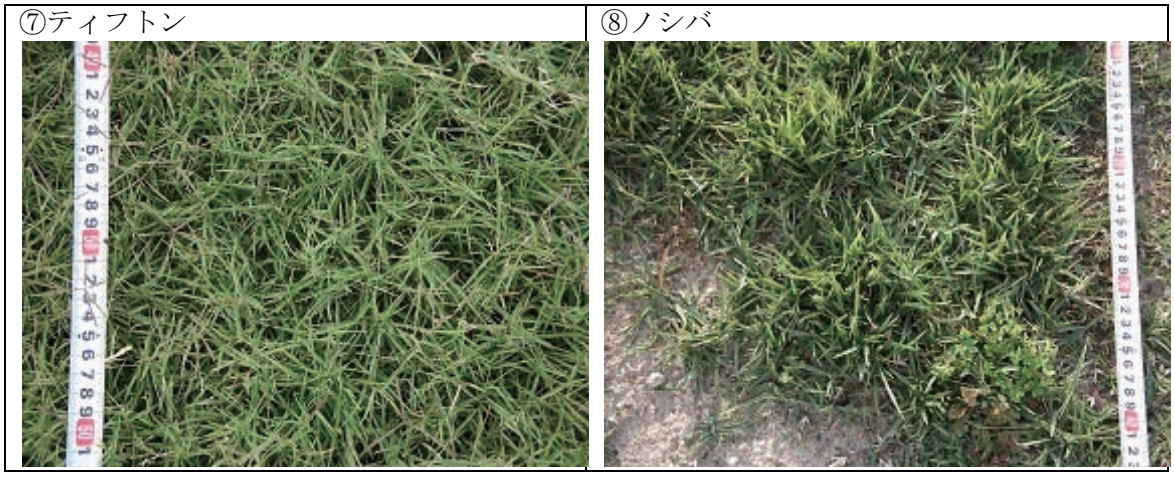



図 付 8.25　サイト 3　施工後 15 週目の状態（10 月 18 日）　詳細

## 2. 芝草の植被率

表 付 8.1　芝草の植被率（サイト 1：畑地）

単位：%

| | 7/8 | 7/21 | 8/5 | 8/25 | 9/8 | 9/30 | 10/13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 日 | 0 | 14 | 29 | 49 | 63 | 85 | 98 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 無施肥 | 0 | 10 | 50 | 85 | 90 | 95 | 95 |
| ﾊﾟｽﾊﾟﾗﾑ 無施肥 | 0 | 1 | 5 | 30 | 20 | 20 | 25 |
| ﾉｼﾊﾞ 無施肥 | 0 | 1 | 1 | 5 | 5 | 10 | 10 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 施肥 | 0 | 10 | 55 | 80 | 90 | 90 | 95 |
| ﾊﾟｽﾊﾟﾗﾑ 施肥 | 0 | 1 | 10 | 30 | 20 | 15 | 40 |
| ﾉｼﾊﾞ 施肥 | 0 | 1 | 1 | 5 | 10 | 5 | 10 |

表 付 8.2　芝草の植被率（サイト 2：田地）

単位：%

| | 7/7 | 7/21 | 8/5 | 8/29 | 9/8 | 9/30 | 10/18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 日 | 0 | 15 | 30 | 54 | 64 | 86 | 104 |
| ﾊﾞﾐｭｰﾀﾞ 播種 | 0 | 85 | 95 | 97 | 95 | 98 | 98 |
| ﾉｼﾊﾞ 播種 | 0 | 20 | 70 | 80 | 80 | 90 | 85 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 手播き | 0 | 25 | 60 | 65 | 60 | 85 | 90 |
| ﾉｼﾊﾞ 手播き | 0 | 3 | 3 | 5 | 30 | 30 | 30 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ ｺﾞｰﾛｰﾝ | 0 | 20 | 50 | 65 | 80 | 90 | 95 |
| ﾉｼﾊﾞ ｺﾞｰﾛｰﾝ | 0 | 1 | 1 | 1 | 5 | 3 | 5 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 張り芝 | 100 | 85 | 90 | 95 | 100 | 100 | 100 |
| ﾉｼﾊﾞ 張り芝 | 100 | 65 | 80 | 90 | 95 | 95 | 100 |

表 付 8.3　芝草の植被率（サイト 3：田地）

単位：%

| | 7/8 | 7/21 | 8/5 | 8/29 | 9/8 | 9/30 | 10/18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 日 | 0 | 14 | 29 | 53 | 63 | 85 | 103 |
| ﾊﾞﾐｭｰﾀﾞ 播種 | 0 | 60 | 80 | 85 | 95 | 98 | 90 |
| ﾉｼﾊﾞ 播種 | 0 | 10 | 30 | 20 | 40 | 65 | 60 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 手播き | 0 | 30 | 70 | 70 | 75 | 90 | 85 |
| ﾉｼﾊﾞ 手播き | 0 | 1 | 1 | 5 | 5 | 10 | 20 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ ｺﾞｰﾛｰﾝ | 0 | 20 | 60 | 70 | 75 | 90 | 85 |
| ﾉｼﾊﾞ ｺﾞｰﾛｰﾝ | 0 | 2 | 1 | 1 | 5 | 3 | 10 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 張り芝 | 100 | 80 | 60 | 95 | 95 | 100 | 95 |
| ﾉｼﾊﾞ 張り芝 | 100 | 20 | 15 | 15 | 15 | 20 | 20 |

3.　全植物の植被率

表 付 8.4　全植物の植被率（サイト 1：畑地）

単位：%

| | 7/8 | 7/21 | 8/5 | 8/25※ | 9/8 | 9/30※ | 10/13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 日 | 0 | 14 | 29 | 49 | 63 | 85 | 98 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 無施肥 | 0 | 20 | 70 | 95 | 95 | 98 | 95 |
| ﾊﾟｽﾊﾟﾗﾑ 無施肥 | 0 | 3 | 40 | 60 | 50 | 70 | 60 |
| ﾉｼﾊﾞ 無施肥 | 0 | 3 | 60 | 90 | 60 | 70 | 90 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 施肥 | 0 | 20 | 80 | 100 | 100 | 98 | 95 |
| ﾊﾟｽﾊﾟﾗﾑ 施肥 | 0 | 3 | 60 | 95 | 80 | 80 | 80 |
| ﾉｼﾊﾞ 施肥 | 0 | 5 | 60 | 90 | 70 | 70 | 75 |

※：雑草処理を実施

表 付 8.5　全植物の植被率（サイト 2：田地）

単位：%

| | 7/7 | 7/21 | 8/5 | 8/29※ | 9/8 | 9/30※ | 10/18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 日 | 0 | 15 | 30 | 54 | 64 | 86 | 104 |
| ﾊﾞﾐｭｰﾀﾞ 播種 | 0 | 90 | 98 | 98 | 100 | 100 | 100 |
| ﾉｼﾊﾞ 播種 | 0 | 20 | 80 | 85 | 80 | 98 | 95 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 手播き | 0 | 30 | 70 | 80 | 70 | 95 | 98 |
| ﾉｼﾊﾞ 手播き | 0 | 5 | 20 | 40 | 60 | 70 | 90 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ ｺﾞｰﾛｰﾝ | 0 | 20 | 60 | 70 | 80 | 90 | 98 |
| ﾉｼﾊﾞ ｺﾞｰﾛｰﾝ | 0 | 1 | 2 | 3 | 5 | 10 | 15 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 張り芝 | 100 | 85 | 90 | 98 | 100 | 100 | 100 |
| ﾉｼﾊﾞ 張り芝 | 100 | 65 | 80 | 90 | 100 | 95 | 100 |

※：雑草処理を実施

表 付 8.6　全植物の植被率（サイト 3：田地）

単位：%

| | 7/8 | 7/21 | 8/5 | 8/29※ | 9/8 | 9/30※ | 10/18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 日 | 0 | 14 | 29 | 53 | 63 | 85 | 103 |
| ﾊﾞﾐｭｰﾀﾞ 播種 | 0 | 70 | 90 | 95 | 95 | 98 | 95 |
| ﾉｼﾊﾞ 播種 | 0 | 20 | 60 | 70 | 70 | 80 | 80 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 手播き | 0 | 50 | 80 | 85 | 85 | 95 | 90 |
| ﾉｼﾊﾞ 手播き | 0 | 5 | 50 | 70 | 15 | 50 | 40 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ ｺﾞｰﾛｰﾝ | 0 | 20 | 70 | 75 | 80 | 95 | 90 |
| ﾉｼﾊﾞ ｺﾞｰﾛｰﾝ | 0 | 2 | 5 | 10 | 10 | 40 | 30 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 張り芝 | 100 | 80 | 60 | 75 | 99 | 100 | 100 |
| ﾉｼﾊﾞ 張り芝 | 100 | 20 | 15 | 15 | 15 | 30 | 25 |

※：雑草処理を実施

4. 芝草の草高

表 付 8.7　芝草の草高（サイト 1：畑地）

単位：cm

| | 7/8 | 8/5 | 8/25 | 9/8 | 9/30 | 10/13 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 日 | 0 | 29 | 49 | 63 | 85 | 98 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 無施肥 | 0 | 5.9 | 11.6 | 14.8 | 9.8 | 12.8 |
| ﾊﾟｽﾊﾟﾗﾑ 無施肥 | 0 | 4.6 | 5.8 | 7.1 | 5.0 | 7.5 |
| ﾉｼﾊﾞ 無施肥 | 0 | 3.0 | 2.8 | 2.5 | 1.7 | 2.2 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 施肥 | 0 | 9.5 | 18.4 | 17.2 | 9.8 | 11.8 |
| ﾊﾟｽﾊﾟﾗﾑ 施肥 | 0 | 7.0 | 9.5 | 10.0 | 7.0 | 8.6 |
| ﾉｼﾊﾞ 施肥 | 0 | 4.2 | 2.8 | 2.3 | 2.0 | 2.2 |

表 付 8.8　芝草の草高（サイト 2：田地）

単位：cm

| | 7/7 | 8/5 | 8/29 | 9/8 | 9/30 | 10/18 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 日 | 0 | 30 | 54 | 64 | 86 | 104 |
| ﾊﾞﾐｭｰﾀﾞ 播種 | 0 | 4.6 | 10.6 | 14.9 | 13.4 | 14.6 |
| ﾉｼﾊﾞ 播種 | 0 | 2.3 | 5 | 8.8 | 7.8 | 7.2 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 手播き | 0 | 7.8 | 9.4 | 8.8 | 9.8 | 10.0 |
| ﾉｼﾊﾞ 手播き | 0 | 3.6 | 3.6 | 3.0 | 4.6 | 2.8 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ ｺﾞｰﾛｰﾝ | 0 | 6.7 | 9 | 9.7 | 7.6 | 10.2 |
| ﾉｼﾊﾞ ｺﾞｰﾛｰﾝ | 0 | 2.5 | 3.6 | 3.6 | 3.0 | 2.2 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 張り芝 | 0 | 6.9 | 9.2 | 10.5 | 10.4 | 10.2 |
| ﾉｼﾊﾞ 張り芝 | 0 | 6.2 | 8.5 | 8.5 | 8.4 | 9.6 |

表 付 8.9　芝草の草高（サイト 3：田地）

単位：cm

| | 7/8 | 8/5 | 8/29 | 9/8 | 9/30 | 10/18 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 日 | 0 | 29 | 53 | 63 | 85 | 103 |
| ﾊﾞﾐｭｰﾀﾞ 播種 | 0 | 4.9 | 9.8 | 14.1 | 10.6 | 13.4 |
| ﾉｼﾊﾞ 播種 | 0 | 1.8 | 2.4 | 5.2 | 6.6 | 3.4 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 手播き | 0 | 6.0 | 6.2 | 10.0 | 8.6 | 9.9 |
| ﾉｼﾊﾞ 手播き | 0 | 6.4 | 3.3 | 4.4 | 3.8 | 5.1 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ ｺﾞｰﾛｰﾝ | 0 | 5.4 | 7.2 | 6.7 | 7.2 | 6.2 |
| ﾉｼﾊﾞ ｺﾞｰﾛｰﾝ | 0 | 2.5 | 2.6 | 2.1 | 2.0 | 2.2 |
| ﾃｨﾌﾄﾝ 張り芝 | 0 | 5.6 | 6.8 | 5.6 | 7.6 | 7.0 |
| ﾉｼﾊﾞ 張り芝 | 0 | 3.3 | 4.6 | 4.9 | 5.8 | 5.0 |

付録 9　芝草への吸収による除染効果データ

サイト 1

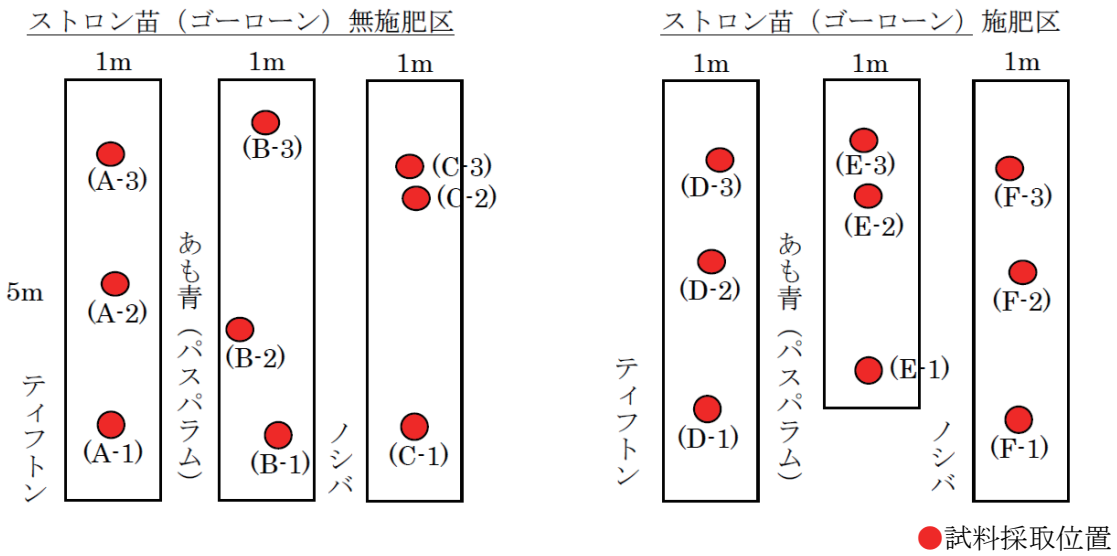



図 付 9.1　芝草への吸収による除染効果試料採取位置（サイト 1：畑地）

表 付 9.1　芝草への吸収による除染効果（サイト 1：畑地）(1/6)

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量 (g) | 放射性 Cs の量 (Bq) | | 放射性 Cs の濃度 (Bq/g) | | 除染効果 (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| A-1 | A1-① | 芝草 | 90φ x45mm | 6.3 | 2.41E+01 | 2.90E+01 | 3.83E+00 | 4.60E+00 | 1.E-01 | 1.E-01 |
| | A1-11 | 根土 | 60φ x15mm | 31.5 | 1.38E+03 | 1.91E+03 | 4.38E+01 | 6.06E+01 | | |
| | A1-12 | 根土 | 60φ x15mm | 32.1 | 1.23E+03 | 1.70E+03 | 3.83E+01 | 5.30E+01 | | |
| | A1-13 | 根土 | 60φ x15mm | 29.6 | 1.13E+03 | 1.52E+03 | 3.82E+01 | 5.14E+01 | | |
| A-2 | A2-① | 芝草 | 90φ x45mm | 8.1 | 1.39E+01 | 1.91E+01 | 1.72E+00 | 2.36E+00 | 1.E-01 | 1.E-01 |
| | A2-11 | 根土 | 60φ x15mm | 30.9 | 7.78E+02 | 1.08E+03 | 2.52E+01 | 3.50E+01 | | |
| | A2-12 | 根土 | 60φ x15mm | 34.6 | 8.36E+02 | 1.15E+03 | 2.42E+01 | 3.32E+01 | | |
| | A2-13 | 根土 | 60φ x15mm | 33.9 | 8.16E+02 | 1.12E+03 | 2.41E+01 | 3.30E+01 | | |
| A-3 | A3-① | 芝草 | 90φ x45mm | 13.7 | 1.01E+01 | 1.24E+01 | 7.37E-01 | 9.05E-01 | 2.E-01 | 2.E-01 |
| | A3-11 | 根土 | 60φ x15mm | 29.8 | 3.22E+02 | 4.52E+02 | 1.08E+01 | 1.52E+01 | | |
| | A3-12 | 根土 | 60φ x15mm | 31.7 | 3.11E+02 | 4.30E+02 | 9.81E+00 | 1.36E+01 | | |
| | A3-13 | 根土 | 60φ x15mm | 30.1 | 2.84E+02 | 3.94E+02 | 9.44E+00 | 1.31E+01 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 2.E-01 | 1.E-01 |

表 付 9.1　芝草への吸収による除染効果（サイト 1：畑地）（2/6）

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量(Bq) | | 放射性 Cs の濃度(Bq/g) | | 除染効果(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| B-1 | B1-① | 芝草 | 90φ x45mm | 8.6 | 2.67E+01 | 3.60E+01 | 3.10E+00 | 4.19E+00 | 2.E-01 | 2.E-01 |
| | B1-11 | 根土 | 60φ x15mm | 33.9 | 1.21E+03 | 1.67E+03 | 3.57E+01 | 4.93E+01 | | |
| | B1-12 | 根土 | 60φ x15mm | 30.1 | 1.14E+03 | 1.57E+03 | 3.79E+01 | 5.22E+01 | | |
| | B1-13 | 根土 | 60φ x15mm | 32.4 | 1.15E+03 | 1.56E+02 | 3.55E+01 | 4.81E+00 | | |
| B-2 | B2-① | 芝草 | 90φ x45mm | 10.3 | 1.97E+01 | 2.21E+01 | 1.91E+00 | 2.15E+00 | 9.E-02 | 8.E-02 |
| | B2-11 | 根土 | 60φ x15mm | 32.0 | 1.50E+03 | 2.04E+03 | 4.69E+01 | 6.38E+01 | | |
| | B2-12 | 根土 | 60φ x15mm | 31.4 | 1.34E+03 | 1.86E+03 | 4.27E+01 | 5.92E+01 | | |
| | B2-13 | 根土 | 60φ x15mm | 31.7 | 1.33E+03 | 1.84E+03 | 4.20E+01 | 5.80E+01 | | |
| B-3 | B3-① | 芝草 | 90φ x45mm | 5.4 | 3.57E+01 | 4.57E+01 | 6.61E+00 | 8.46E+00 | 1.E-01 | 9.E-02 |
| | B3-11 | 根土 | 60φ x15mm | 28.6 | 2.44E+03 | 3.35E+03 | 8.53E+01 | 1.17E+02 | | |
| | B3-12 | 根土 | 60φ x15mm | 31.0 | 2.37E+03 | 3.28E+03 | 7.65E+01 | 1.06E+02 | | |
| | B3-13 | 根土 | 60φ x15mm | 33.5 | 2.26E+03 | 3.11E+03 | 6.75E+01 | 9.28E+01 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 1.E-01 | 1.E-01 |

表 付 9.1　芝草への吸収による除染効果（サイト 1：畑地）（3/6）

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量 (Bq) | | 放射性 Cs の濃度 (Bq/g) | | 除染効果 (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| C-1 | C1-① | 芝草 | 90φ x45mm | 4.4 | 1.35E+01 | 2.02E+01 | 3.07E+00 | 4.59E+00 | 4.E-02 | 5.E-02 |
| | C1-11 | 根土 | 60φ x15mm | 32.1 | 1.97E+03 | 2.72E+03 | 6.14E+01 | 8.47E+01 | | |
| | C1-12 | 根土 | 60φ x15mm | 31.5 | 2.08E+03 | 2.84E+03 | 6.60E+01 | 9.02E+01 | | |
| | C1-13 | 根土 | 60φ x15mm | 29.2 | 1.99E+03 | 2.74E+03 | 6.82E+01 | 9.38E+01 | | |
| C-2 | C2-① | 芝草 | 90φ x45mm | 2.6 | 6.17E+00 | 9.52E+00 | 2.37E+00 | 3.66E+00 | 8.E-02 | 9.E-02 |
| | C2-11 | 根土 | 60φ x15mm | 31.3 | 5.90E+02 | 8.08E+02 | 1.88E+01 | 2.58E+01 | | |
| | C2-12 | 根土 | 60φ x15mm | 29.1 | 5.11E+02 | 6.94E+02 | 1.76E+01 | 2.38E+01 | | |
| | C2-13 | 根土 | 60φ x15mm | 28.5 | 4.72E+02 | 5.80E+02 | 1.66E+01 | 2.04E+01 | | |
| C-3 | C3-① | 芝草 | 90φ x45mm | 3.5 | 1.42E+01 | 1.71E+01 | 4.06E+00 | 4.89E+00 | 1.E-01 | 1.E-01 |
| | C3-11 | 根土 | 60φ x15mm | 31.5 | 7.80E+02 | 1.06E+03 | 2.48E+01 | 3.37E+01 | | |
| | C3-12 | 根土 | 60φ x15mm | 30.5 | 7.99E+02 | 1.09E+03 | 2.62E+01 | 3.57E+01 | | |
| | C3-13 | 根土 | 60φ x15mm | 29.8 | 7.73E+02 | 1.05E+03 | 2.59E+01 | 3.52E+01 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 8.E-02 | 8.E-02 |

表 付 9.1　芝草への吸収による除染効果（サイト 1：畑地）（4/6）

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量(Bq) | | 放射性 Cs の濃度(Bq/g) | | 除染効果(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| D-1 | D1-① | 芝草 | 90φ x45mm | 11.3 | 2.98E+01 | 4.02E+01 | 2.64E+00 | 3.56E+00 | 2.E-01 | 2.E-01 |
| | D1-11 | 根土 | 60φ x15mm | 38.7 | 1.54E+03 | 2.12E+03 | 3.98E+01 | 5.48E+01 | | |
| | D1-12 | 根土 | 60φ x15mm | 34.6 | 1.14E+03 | 1.57E+03 | 3.29E+01 | 4.54E+01 | | |
| | D1-13 | 根土 | 60φ x15mm | 36.2 | 1.15E+03 | 1.60E+03 | 3.18E+01 | 4.42E+01 | | |
| D-2 | D2-① | 芝草 | 90φ x45mm | 11.2 | 2.76E+01 | 3.57E+01 | 2.46E+00 | 3.19E+00 | 2.E-01 | 2.E-01 |
| | D2-11 | 根土 | 60φ x15mm | 36.8 | 7.42E+02 | 1.03E+03 | 2.02E+01 | 2.80E+01 | | |
| | D2-12 | 根土 | 60φ x15mm | 35.5 | 6.99E+02 | 9.73E+02 | 1.97E+01 | 2.74E+01 | | |
| | D2-13 | 根土 | 60φ x15mm | 38.5 | 7.72E+02 | 1.07E+03 | 2.01E+01 | 2.78E+01 | | |
| D-3 | D3-① | 芝草 | 90φ x45mm | 9.7 | 2.74E+01 | 4.00E+01 | 2.82E+00 | 4.12E+00 | 2.E-01 | 2.E-01 |
| | D3-11 | 根土 | 60φ x15mm | 33.7 | 1.17E+03 | 1.61E+03 | 3.47E+01 | 4.78E+01 | | |
| | D3-12 | 根土 | 60φ x15mm | 33.6 | 1.09E+03 | 1.48E+03 | 3.24E+01 | 4.40E+01 | | |
| | D3-13 | 根土 | 60φ x15mm | 38.5 | 1.34E+03 | 1.87E+03 | 3.48E+01 | 4.86E+01 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 2.E-01 | 2.E-01 |

表 付 9.1　芝草への吸収による除染効果（サイト 1：畑地）（5/6）

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量 (Bq) | | 放射性 Cs の濃度 (Bq/g) | | 除染効果 (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| E-1 | E1-① | 芝草 | 90φ x45mm | 5.1 | 2.28E+01 | 2.99E+01 | 4.47E+00 | 5.86E+00 | 1.E-01 | 9.E-02 |
| | E1-11 | 根土 | 60φ x15mm | 32.6 | 1.51E+03 | 2.08E+03 | 4.63E+01 | 6.38E+01 | | |
| | E1-12 | 根土 | 60φ x15mm | 33.0 | 1.62E+03 | 2.19E+03 | 4.91E+01 | 6.64E+01 | | |
| | E1-13 | 根土 | 60φ x15mm | 32.4 | 1.61E+03 | 2.24E+03 | 4.97E+01 | 6.91E+01 | | |
| E-2 | E2-① | 芝草 | 90φ x45mm | 4.6 | 1.94E+01 | 2.53E+01 | 4.22E+00 | 5.50E+00 | 6.E-02 | 5.E-02 |
| | E2-11 | 根土 | 60φ x15mm | 34.0 | 2.18E+03 | 2.98E+03 | 6.41E+01 | 8.76E+01 | | |
| | E2-12 | 根土 | 60φ x15mm | 35.4 | 2.40E+03 | 3.30E+03 | 6.78E+01 | 9.32E+01 | | |
| | E2-13 | 根土 | 60φ x15mm | 35.2 | 2.29E+03 | 3.11E+03 | 6.51E+01 | 8.84E+01 | | |
| E-3 | E3-① | 芝草 | 90φ x45mm | 5.2 | 2.94E+01 | 3.62E+01 | 5.65E+00 | 6.96E+00 | 2.E-01 | 2.E-01 |
| | E3-11 | 根土 | 60φ x15mm | 33.8 | 8.71E+02 | 1.18E+03 | 2.58E+01 | 3.49E+01 | | |
| | E3-12 | 根土 | 60φ x15mm | 35.5 | 9.06E+02 | 1.24E+03 | 2.55E+01 | 3.49E+01 | | |
| | E3-13 | 根土 | 60φ x15mm | 32.6 | 8.01E+02 | 1.10E+03 | 2.46E+01 | 3.37E+01 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 1.E-01 | 1.E-01 |

表 付 9.1　芝草への吸収による除染効果（サイト 1：畑地）(6/6)

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量 (g) | 放射性 Cs の量 (Bq) | | 放射性 Cs の濃度 (Bq/g) | | 除染効果 (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| F-1 | F1-① | 芝草 | 90φ x45mm | 3.2 | 3.85E+00 | 3.89E+00 | 1.20E+00 | 1.22E+00 | 2.E-01 | 1.E-01 |
| | F1-11 | 根土 | 60φ x15mm | 26.9 | 1.90E+02 | 2.61E+02 | 7.06E+00 | 9.70E+00 | | |
| | F1-12 | 根土 | 60φ x15mm | 34.8 | 2.48E+02 | 3.43E+02 | 7.13E+00 | 9.86E+00 | | |
| | F1-13 | 根土 | 60φ x15mm | 32.7 | 9.27E+00 | 1.31E+01 | 2.83E-01 | 4.01E-01 | | |
| F-2 | F2-① | 芝草 | 90φ x45mm | 3.7 | 1.39E+01 | 1.60E+01 | 3.76E+00 | 4.32E+00 | 7.E-02 | 6.E-02 |
| | F2-11 | 根土 | 60φ x15mm | 34.9 | 1.23E+03 | 1.69E+03 | 3.52E+01 | 4.84E+01 | | |
| | F2-12 | 根土 | 60φ x15mm | 37.1 | 1.38E+03 | 1.91E+03 | 3.72E+01 | 5.15E+01 | | |
| | F2-13 | 根土 | 60φ x15mm | 36.3 | 1.48E+03 | 2.05E+03 | 4.08E+01 | 5.65E+01 | | |
| F-3 | F3-① | 芝草 | 90φ x45mm | 4.3 | 2.30E+01 | 2.48E+01 | 5.35E+00 | 5.77E+00 | 7.E-02 | 8.E-02 |
| | F3-11 | 根土 | 60φ x15mm | 33.6 | 2.17E+03 | 2.96E+03 | 6.46E+01 | 8.81E+01 | | |
| | F3-12 | 根土 | 60φ x15mm | 32.9 | 2.04E+03 | 2.81E+03 | 6.20E+01 | 8.54E+01 | | |
| | F3-13 | 根土 | 60φ x15mm | 39.9 | 2.63E+03 | 3.63E+02 | 6.59E+01 | 9.10E+00 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 1.E-01 | 9.E-02 |

サイト 2

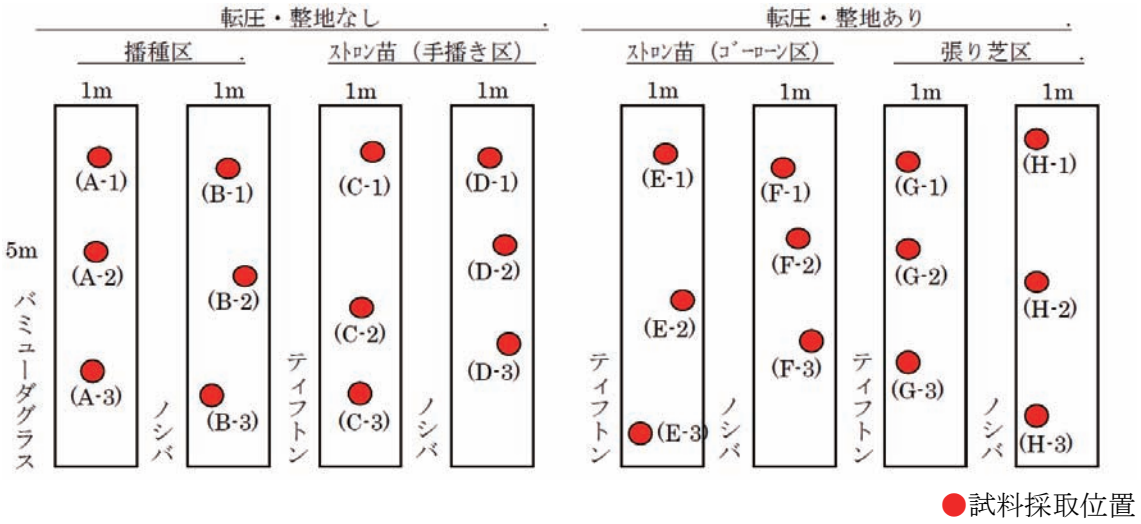



図 付 9.2　芝草への吸収による除染効果試料採取位置（サイト 2：田地）

表 付 9.2　芝草への吸収による除染効果（サイト 2：田地）（1/8）

| 採取位置 | 試料 No. | 試料 | 容器 | 重量 (g) | 放射性 Cs の量 (Bq) | | 放射性 Cs の濃度 (Bq/g) | | 除染効果 (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| A-1 | A-① | 芝草 | 90φ x45mm | 8.2 | 3.50E+01 | 4.59E+01 | 4.27E+00 | 5.60E+00 | 9.E-01 | 9.E-01 |
| | A-11 | 根土 | 90φ x45mm | 220 | 2.00E+03 | 2.65E+03 | 9.08E+00 | 1.20E+01 | | |
| A-2 | A-② | 芝草 | 90φ x45mm | 8.0 | 1.55E+01 | 1.87E+01 | 1.94E+00 | 2.34E+00 | 5.E-01 | 5.E-01 |
| | A-12 | 根土 | 90φ x45mm | 210 | 1.51E+03 | 1.97E+03 | 7.19E+00 | 9.39E+00 | | |
| A-3 | A-③ | 芝草 | 90φ x45mm | 9.0 | 2.31E+01 | 2.91E+01 | 2.57E+00 | 3.23E+00 | 5.E-01 | 4.E-01 |
| | A-13 | 根土 | 90φ x45mm | 215 | 2.46E+03 | 3.24E+03 | 1.14E+01 | 1.50E+01 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 6.E-01 | 6.E-01 |

表 付 9.2　芝草への吸収による除染効果（サイト 2：田地）(2/8)

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量(Bq) | | 放射性 Cs の濃度(Bq/g) | | 除染効果(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| B-1 | B-① | 芝草 | 90φ x45mm | 8.4 | 1.93E+01 | 2.62E+01 | 2.30E+00 | 3.12E+00 | 7.E-01 | 7.E-01 |
| | B-11 | 根土 | 90φ x45mm | 216 | 1.37E+03 | 1.77E+03 | 6.35E+00 | 8.20E+00 | | |
| B-2 | B-② | 芝草 | 90φ x45mm | 8.9 | 1.14E+01 | 1.43E+01 | 1.28E+00 | 1.61E+00 | 5.E-01 | 5.E-01 |
| | B-12 | 根土 | 90φ x45mm | 253 | 1.17E+03 | 1.53E+03 | 4.63E+00 | 6.06E+00 | | |
| B-3 | B-③ | 芝草 | 90φ x45mm | 6.3 | 1.39E+01 | 1.83E+01 | 2.21E+00 | 2.90E+00 | 5.E-01 | 5.E-01 |
| | B-13 | 根土 | 90φ x45mm | 219 | 1.42E+03 | 1.85E+03 | 6.48E+00 | 8.45E+00 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 6.E-01 | 6.E-01 |

表 付 9.2　芝草への吸収による除染効果（サイト 2：田地）(3/8)

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量(Bq) | | 放射性 Cs の濃度(Bq/g) | | 除染効果(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| C-1 | C-① | 芝草 | 90φ x45mm | 13.7 | 1.17E+01 | 1.60E+01 | 8.54E-01 | 1.17E+00 | 3.E-01 | 3.E-01 |
| | C-11 | 根土 | 90φ x45mm | 205 | 2.08E+03 | 2.72E+03 | 1.02E+01 | 1.33E+01 | | |
| C-2 | C-② | 芝草 | 90φ x45mm | 12.4 | 7.93E+00 | 9.72E+00 | 6.40E-01 | 7.84E-01 | 3.E-01 | 2.E-01 |
| | C-12 | 根土 | 90φ x45mm | 207 | 1.57E+03 | 2.08E+03 | 7.59E+00 | 1.01E+01 | | |
| C-3 | C-③ | 芝草 | 90φ x45mm | 11.1 | 1.54E+01 | 2.04E+01 | 1.39E+00 | 1.84E+00 | 4.E-01 | 4.E-01 |
| | C-13 | 根土 | 90φ x45mm | 228 | 2.06E+03 | 2.73E+03 | 9.03E+00 | 1.20E+01 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 3.E-01 | 3.E-01 |

表 付 9.2　芝草への吸収による除染効果（サイト 2：田地）（4/8）

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量（Bq） | | 放射性 Cs の濃度（Bq/g） | | 除染効果（%） | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| D-1 | D-① | 芝草 | 90φ x45mm | 5.3 | 7.63E+00 | 8.76E+00 | 1.44E+00 | 1.65E+00 | 2.E-01 | 2.E-01 |
| | D-11 | 根土 | 90φ x45mm | 204 | 1.58E+03 | 2.10E+03 | 7.73E+00 | 1.03E+01 | | |
| D-2 | D-② | 芝草 | 90φ x45mm | 4.5 | 5.38E+00 | 6.77E+00 | 1.20E+00 | 1.50E+00 | 1.E-01 | 1.E-01 |
| | D-12 | 根土 | 90φ x45mm | 208 | 2.10E+03 | 2.77E+03 | 1.01E+01 | 1.33E+01 | | |
| D-3 | D-③ | 芝草 | 90φ x45mm | 4.0 | 5.87E+00 | 7.19E+00 | 1.47E+00 | 1.80E+00 | 2.E-01 | 1.E-01 |
| | D-13 | 根土 | 90φ x45mm | 214 | 1.95E+03 | 2.56E+03 | 9.10E+00 | 1.20E+01 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 2.E-01 | 2.E-01 |

表 付 9.2　芝草への吸収による除染効果（サイト 2：田地）（5/8）

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量（Bq） | | 放射性 Cs の濃度（Bq/g） | | 除染効果（%） | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| E-1 | E-① | 芝草 | 90φ x45mm | 18.0 | 2.91E+01 | 3.64E+01 | 1.62E+00 | 2.02E+00 | 5.E-01 | 5.E-01 |
| | E-11 | 根土 | 90φ x45mm | 188 | 3.05E+03 | 3.99E+03 | 1.63E+01 | 2.13E+01 | | |
| E-2 | E-② | 芝草 | 90φ x45mm | 10.7 | 1.95E+01 | 2.56E+01 | 1.82E+00 | 2.39E+00 | 7.E-01 | 7.E-01 |
| | E-12 | 根土 | 90φ x45mm | 240 | 1.42E+03 | 1.94E+03 | 5.92E+00 | 8.08E+00 | | |
| E-3 | E-③ | 芝草 | 90φ x45mm | 17.1 | 1.28E+01 | 1.57E+01 | 7.49E-01 | 9.18E-01 | 2.E-01 | 2.E-01 |
| | E-13 | 根土 | 90φ x45mm | 199 | 3.34E+03 | 4.43E+03 | 1.68E+01 | 2.22E+01 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 4.E-01 | 4.E-01 |

表 付 9.2　芝草への吸収による除染効果（サイト 2：田地）（6/8）

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量(Bq) | | 放射性 Cs の濃度(Bq/g) | | 除染効果(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| F-1 | F-① | 芝草 | 90φ x45mm | 7.2 | 1.02E+01 | 1.65E+01 | 1.42E+00 | 2.29E+00 | 3.E-01 | 4.E-01 |
| | F-11 | 根土 | 90φ x45mm | 235 | 1.70E+03 | 2.25E+03 | 7.25E+00 | 9.59E+00 | | |
| F-2 | F-② | 芝草 | 90φ x45mm | 7.3 | 4.86E+00 | 8.00E+00 | 6.66E-01 | 1.10E+00 | 2.E-01 | 2.E-01 |
| | F-12 | 根土 | 90φ x45mm | 217 | 1.60E+03 | 2.10E+03 | 7.36E+00 | 9.66E+00 | | |
| F-3 | F-③ | 芝草 | 90φ x45mm | 5.1 | 4.66E+00 | 5.94E+00 | 9.14E-01 | 1.16E+00 | 1.E-01 | 1.E-01 |
| | F-13 | 根土 | 90φ x45mm | 209 | 2.08E+03 | 2.75E+03 | 9.94E+00 | 1.31E+01 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 2.E-01 | 2.E-01 |

表 付 9.2　芝草への吸収による除染効果（サイト 2：田地）（7/8）

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量(Bq) | | 放射性 Cs の濃度(Bq/g) | | 除染効果(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| G-1 | G-① | 芝草 | 90φ x45mm | 45.1 | 2.07E+01 | 2.71E+01 | 4.59E-01 | 6.01E-01 | 4.E-01 | 3.E-01 |
| | G-11 | 根土 | 90φ x45mm | 180 | 2.94E+03 | 3.87E+03 | 1.63E+01 | 2.15E+01 | | |
| G-2 | G-② | 芝草 | 90φ x45mm | 28.2 | 9.12E+00 | 9.24E+00 | 3.23E-01 | 3.28E-01 | 3.E-01 | 2.E-01 |
| | G-12 | 根土 | 90φ x45mm | 215 | 1.53E+03 | 2.02E+03 | 7.12E+00 | 9.40E+00 | | |
| G-3 | G-③ | 芝草 | 90φ x45mm | 33.8 | 7.12E+00 | 9.91E+00 | 2.11E-01 | 2.93E-01 | 3.E-01 | 3.E-01 |
| | G-13 | 根土 | 90φ x45mm | 190 | 1.42E+03 | 1.91E+03 | 7.46E+00 | 1.00E+01 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 3.E-01 | 3.E-01 |

表 付 9.2　芝草への吸収による除染効果（サイト 2：田地）(8/8)

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量(Bq) | | 放射性 Cs の濃度(Bq/g) | | 除染効果(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| H-1 | H-① | 芝草 | 90φ x45mm | 34.2 | 1.25E+01 | 1.52E+01 | 3.65E-01 | 4.44E-01 | 4.E-01 | 3.E-01 |
| | H-11 | 根土 | 90φ x45mm | 189 | 1.65E+03 | 2.18E+03 | 8.72E+00 | 1.15E+01 | | |
| H-2 | H-② | 芝草 | 90φ x45mm | 35.9 | 2.12E+01 | 3.13E+01 | 5.91E-01 | 8.72E-01 | 6.E-01 | 7.E-01 |
| | H-12 | 根土 | 90φ x45mm | 188 | 1.72E+03 | 2.29E+03 | 9.16E+00 | 1.22E+01 | | |
| H-3 | H-③ | 芝草 | 90φ x45mm | 54.1 | 2.05E+01 | 2.91E+01 | 3.79E-01 | 5.38E-01 | 7.E-01 | 8.E-01 |
| | H-13 | 根土 | 90φ x45mm | 203 | 1.40E+03 | 1.86E+03 | 6.89E+00 | 9.16E+00 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 6.E-01 | 6.E-01 |

サイト 3

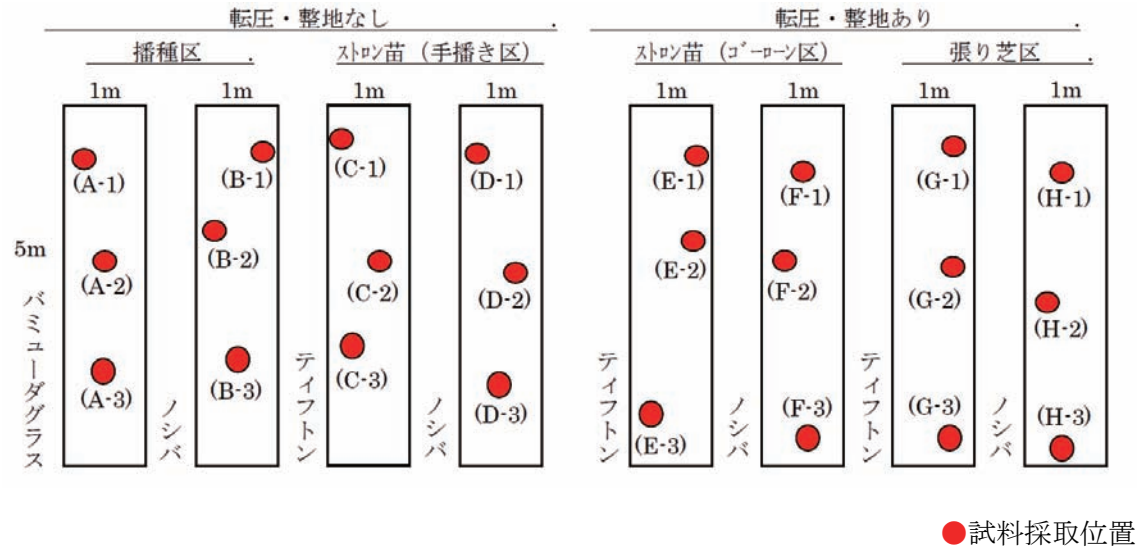



図 付 9.3　芝草への吸収による除染効果試料採取位置（サイト 2：田地）

表 付 9.3　芝草への吸収による除染効果（サイト 3：田地）（1/8）

| 採取位置 | 試料 No. | 試料 | 容器 | 重量 (g) | 放射性 Cs の量 (Bq) | | 放射性 Cs の濃度 (Bq/g) | | 除染効果 (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| A-1 | A-① | 芝草 | 90φ x45mm | 12.2 | 7.02E+00 | 9.13E+00 | 5.75E-01 | 7.48E-01 | 5.E-01 | 5.E-01 |
| | A-11 | 根土 | 90φ x45mm | 209 | 6.84E+02 | 9.37E+02 | 3.27E+00 | 4.49E+00 | | |
| A-2 | A-② | 芝草 | 90φ x45mm | 14.1 | 1.49E+01 | 1.87E+01 | 1.06E+00 | 1.33E+00 | 1.E+00 | 1.E+00 |
| | A-12 | 根土 | 90φ x45mm | 184 | 5.50E+02 | 7.22E+02 | 2.99E+00 | 3.92E+00 | | |
| A-3 | A-③ | 芝草 | 90φ x45mm | 14.8 | 1.10E+01 | 1.42E+01 | 7.43E-01 | 9.59E-01 | 5.E-01 | 5.E-01 |
| | A-13 | 根土 | 90φ x45mm | 213 | 1.10E+03 | 1.47E+03 | 5.16E+00 | 6.90E+00 | | |
| 平均 | | | | | | | | | 8.E-01 | 7.E-01 |

表 付 9.3　芝草への吸収による除染効果（サイト 3：田地）(2/8)

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量 (Bq) | | 放射性 Cs の濃度 (Bq/g) | | 除染効果 (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| B-1 | B-① | 芝草 | 90φ x45mm | 7.4 | 3.11E+00 | 3.79E+00 | 4.20E-01 | 5.12E-01 | 2.E-01 | 2.E-01 |
| | B-11 | 根土 | 90φ x45mm | 203 | 7.90E+02 | 1.06E+03 | 3.90E+00 | 5.23E+00 | | |
| B-2 | B-② | 芝草 | 90φ x45mm | 7.0 | 3.46E+00 | 4.33E+00 | 4.94E-01 | 6.19E-01 | 2.E-01 | 2.E-01 |
| | B-12 | 根土 | 90φ x45mm | 218 | 9.32E+02 | 1.25E+03 | 4.29E+00 | 5.75E+00 | | |
| B-3 | B-③ | 芝草 | 90φ x45mm | 14.6 | 4.98E+00 | 5.37E+00 | 3.41E-01 | 3.68E-01 | 3.E-01 | 3.E-01 |
| | B-13 | 根土 | 90φ x45mm | 184 | 7.43E+02 | 9.76E+02 | 4.05E+00 | 5.32E+00 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 2.E-01 | 2.E-01 |

表 付 9.3　芝草への吸収による除染効果（サイト 3：田地）(3/8)

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量 (Bq) | | 放射性 Cs の濃度 (Bq/g) | | 除染効果 (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| C-1 | C-① | 芝草 | 90φ x45mm | 24.4 | 9.53E+00 | 1.26E+01 | 3.91E-01 | 5.16E-01 | 6.E-01 | 6.E-01 |
| | C-11 | 根土 | 90φ x45mm | 197 | 8.40E+02 | 1.11E+03 | 4.27E+00 | 5.64E+00 | | |
| C-2 | C-② | 芝草 | 90φ x45mm | 20.1 | 9.53E+00 | 1.24E+01 | 4.74E-01 | 6.17E-01 | 4.E-01 | 4.E-01 |
| | C-12 | 根土 | 90φ x45mm | 204 | 1.23E+03 | 1.65E+03 | 6.04E+00 | 8.10E+00 | | |
| C-3 | C-③ | 芝草 | 90φ x45mm | 23.1 | 9.73E+00 | 1.62E+01 | 4.21E-01 | 7.01E-01 | 6.E-01 | 8.E-01 |
| | C-13 | 根土 | 90φ x45mm | 212 | 7.90E+02 | 1.07E+03 | 3.73E+00 | 5.05E+00 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 5.E-01 | 6.E-01 |

表 付 9.3　芝草への吸収による除染効果（サイト 3：田地）（4/8）

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量(Bq) | | 放射性 Cs の濃度(Bq/g) | | 除染効果(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| D-1 | D-① | 芝草 | 90φ x45mm | 5.4 | DL | DL | - | - | - | - |
| | D-11 | 根土 | 90φ x45mm | 213 | 1.13E+03 | 1.51E+03 | 5.32E+00 | 7.10E+00 | | |
| D-2 | D-② | 芝草 | 90φ x45mm | 5.1 | 3.86E+00 | 6.56E+00 | 7.57E-01 | 1.29E+00 | 1.E-01 | 2.E-01 |
| | D-12 | 根土 | 90φ x45mm | 196 | 1.49E+03 | 1.99E+03 | 7.61E+00 | 1.02E+01 | | |
| D-3 | D-③ | 芝草 | 90φ x45mm | 5.3 | 3.76E+00 | 3.94E+00 | 7.09E-01 | 7.43E-01 | 2.E-01 | 1.E-01 |
| | D-13 | 根土 | 90φ x45mm | 207 | 1.21E+03 | 1.62E+03 | 5.86E+00 | 7.84E+00 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 1.E-01 | 1.E-01 |

表 付 9.3　芝草への吸収による除染効果（サイト 3：田地）（5/8）

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量(Bq) | | 放射性 Cs の濃度(Bq/g) | | 除染効果(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| E-1 | E-① | 芝草 | 90φ x45mm | 16.5 | 6.42E+00 | 8.28E+00 | 3.89E-01 | 5.02E-01 | 1.E+00 | 1.E+00 |
| | E-11 | 根土 | 90φ x45mm | 183 | 2.37E+02 | 3.16E+02 | 1.30E+00 | 1.73E+00 | | |
| E-2 | E-② | 芝草 | 90φ x45mm | 15.8 | 6.36E+00 | 6.30E+00 | 4.03E-01 | 3.99E-01 | 7.E-01 | 5.E-01 |
| | E-12 | 根土 | 90φ x45mm | 198 | 4.72E+02 | 6.40E+02 | 2.39E+00 | 3.24E+00 | | |
| E-3 | E-③ | 芝草 | 90φ x45mm | 20.9 | 1.35E+01 | 1.88E+01 | 6.46E-01 | 9.00E-01 | 9.E-01 | 9.E-01 |
| | E-13 | 根土 | 90φ x45mm | 183 | 7.79E+02 | 1.03E+03 | 4.27E+00 | 5.64E+00 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 1.E+00 | 9.E-01 |

表 付 9.3　芝草への吸収による除染効果（サイト 3：田地）（6/8）

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量(Bq) | | 放射性 Cs の濃度(Bq/g) | | 除染効果(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| F-1 | F-① | 芝草 | 90φ x45mm | 5.7 | DL | DL | - | - | - | - |
| | F-11 | 根土 | 90φ x45mm | 201 | 9.21E+02 | 1.23E+03 | 4.58E+00 | 6.11E+00 | | |
| F-2 | F-② | 芝草 | 90φ x45mm | 3.8 | 2.96E+00 | 4.59E+00 | 7.79E-01 | 1.21E+00 | 1.E-01 | 2.E-01 |
| | F-12 | 根土 | 90φ x45mm | 223 | 1.01E+03 | 1.33E+03 | 4.54E+00 | 5.98E+00 | | |
| F-3 | F-③ | 芝草 | 90φ x45mm | 9.1 | DL | 2.27E+00 | - | 2.49E-01 | - | 2.E-01 |
| | F-13 | 根土 | 90φ x45mm | 199 | 5.00E+02 | 6.75E+02 | 2.51E+00 | 3.39E+00 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 1.E-01 | 2.E-01 |

表 付 9.3　芝草への吸収による除染効果（サイト 3：田地）（7/8）

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量(Bq) | | 放射性 Cs の濃度(Bq/g) | | 除染効果(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| G-1 | G-① | 芝草 | 90φ x45mm | 51.5 | DL | DL | - | - | - | - |
| | G-11 | 根土 | 90φ x45mm | 185 | 3.24E+02 | 4.41E+02 | 1.75E+00 | 2.38E+00 | | |
| G-2 | G-② | 芝草 | 90φ x45mm | 37.8 | 2.81E+00 | 5.11E+00 | 7.43E-02 | 1.35E-01 | 3.E-01 | 4.E-01 |
| | G-12 | 根土 | 90φ x45mm | 176 | 4.46E+02 | 6.03E+02 | 2.54E+00 | 3.43E+00 | | |
| G-3 | G-③ | 芝草 | 90φ x45mm | 31.4 | 2.19E+00 | 3.33E+00 | 6.97E-02 | 1.06E-01 | 2.E-01 | 2.E-01 |
| | G-13 | 根土 | 90φ x45mm | 174 | 5.28E+02 | 7.07E+02 | 3.04E+00 | 4.07E+00 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 3.E-01 | 3.E-01 |

表 付 9.3　芝草への吸収による除染効果（サイト 3：田地）(8/8)

| 採取位置 | 試料No. | 試料 | 容器 | 重量(g) | 放射性 Cs の量(Bq) | | 放射性 Cs の濃度(Bq/g) | | 除染効果(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| H-1 | H-① | 芝草 | 90φ x45mm | 28.3 | DL | 4.33E+00 | - | 1.53E-01 | - | 3.E-01 |
| | H-11 | 根土 | 90φ x45mm | 166 | 5.85E+02 | 7.91E+02 | 3.53E+00 | 4.78E+00 | | |
| H-2 | H-② | 芝草 | 90φ x45mm | 37.6 | DL | 2.31E+00 | - | 6.14E-02 | - | 3.E-01 |
| | H-12 | 根土 | 90φ x45mm | 178 | 3.09E+02 | 4.13E+02 | 1.74E+00 | 2.32E+00 | | |
| H-3 | H-③ | 芝草 | 90φ x45mm | 38.5 | 2.55E+00 | 4.05E+00 | 6.62E-02 | 1.05E-01 | 1.E-01 | 1.E-01 |
| | H-13 | 根土 | 90φ x45mm | 173 | 1.01E+03 | 1.35E+03 | 5.83E+00 | 7.80E+00 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 1.E-01 | 2.E-01 |

DL：検出下限値

## 付録 10　芝草の成長及び除染効果に係る統計解析結果

今回の試験で得られた芝草の生育状況及び放射能データを用いて簡便な統計解析を行った。ここでは、そのうち代表的な結果について図表を用いて示す。

### 1.　除染効果の平均値の有意差検定結果

Cs-134 及び Cs-137 それぞれの除染係数について、試験条件（サイト、品種及び施工方法）によってその平均値に有意差があるかを t 検定で調べた。結果は、それぞれの試験条件の組ごとに比較することとし、その t 値の分布をマトリックスで示した。結果としては、Cs-134 及び Cs-137 の除染効果とも、施工方法（手播き及び播種、一部の張り芝）により他の方法と比較して有意差が認められた。

表 付 10.1　Cs-134 の除染係数の平均値に係る t 検定結果

| | S-1 A | S-1 B | S-1 C | S-1 D | S-1 E | S-1 F | S-2 A | S-2 B | S-2 C | S-2 D | S-2 E | S-2 F | S-2 G | S-2 H | S-3 A | S-3 B | S-3 C | S-3 D | S-3 E | S-3 F | S-3 G | S-3 H |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S-1 A | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S-1 B | 0.38 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S-1 C | 0.15 | 0.29 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S-1 D | 0.53 | 0.15 | 0.06 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S-1 E | 0.68 | 0.86 | 0.48 | 0.40 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S-1 F | 0.34 | 0.75 | 0.64 | 0.15 | 0.72 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S-2 A | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| S-2 B | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.72 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | |
| S-2 C | 0.04 | 0.02 | 0.01 | 0.07 | 0.06 | 0.02 | 0.12 | 0.05 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | |
| S-2 D | 0.71 | 0.24 | 0.10 | 0.81 | 0.50 | 0.22 | 0.06 | 0.02 | 0.06 | 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| S-2 E | 0.17 | 0.14 | 0.12 | 0.20 | 0.14 | 0.13 | 0.43 | 0.55 | 0.41 | 0.19 | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| S-2 F | 0.65 | 0.34 | 0.19 | 0.98 | 0.47 | 0.28 | 0.06 | 0.02 | 0.18 | 0.84 | 0.20 | 1.00 | | | | | | | | | | |
| S-2 G | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.06 | 0.06 | 0.01 | 0.12 | 0.05 | 0.96 | 0.05 | 0.40 | 0.18 | 1.00 | | | | | | | | | |
| S-2 H | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.81 | 0.91 | 0.11 | 0.05 | 0.53 | 0.04 | 0.11 | 1.00 | | | | | | | | |
| S-3 A | 0.15 | 0.14 | 0.13 | 0.16 | 0.14 | 0.13 | 0.63 | 0.51 | 0.22 | 0.16 | 0.37 | 0.16 | 0.22 | 0.54 | 1.00 | | | | | | | |
| S-3 B | 0.23 | 0.11 | 0.06 | 0.41 | 0.19 | 0.09 | 0.08 | 0.03 | 0.36 | 0.33 | 0.27 | 0.53 | 0.35 | 0.07 | 0.19 | 1.00 | | | | | | |
| S-3 C | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.56 | 0.73 | 0.07 | 0.02 | 0.68 | 0.02 | 0.07 | 0.70 | 0.45 | 0.03 | 1.00 | | | | | |
| S-3 D | 0.76 | 0.32 | 0.10 | 0.31 | 0.80 | 0.37 | 0.06 | 0.03 | 0.04 | 0.48 | 0.16 | 0.51 | 0.02 | 0.05 | 0.15 | 0.18 | 0.03 | 1.00 | | | | |
| S-3 E | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.23 | 0.17 | 0.08 | 0.05 | 0.11 | 0.05 | 0.08 | 0.19 | 0.64 | 0.06 | 0.15 | 0.05 | 1.00 | | | |
| S-3 F | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | | |
| S-3 G | 0.25 | 0.20 | 0.14 | 0.37 | 0.18 | 0.14 | 0.09 | 0.04 | 0.59 | 0.31 | 0.32 | 0.42 | 0.60 | 0.08 | 0.20 | 0.78 | 0.06 | 0.26 | 0.06 | – | 1.00 | |
| S-3 H | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 整地あり | | | | | | | 整地なし | | | | 整地あり | | | | 整地なし | | | | 整地あり | | | |
| ゴーローン | | | | | | | 播種 | | 手播き | | ゴーローン | | 張り芝 | | 播種 | | 手播き | | ゴーローン | | 張り芝 | |
| 無施肥 | | | 施肥 | | | | 無施肥 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ティフトン | ノシバ | バスパラム | ティフトン | ノシバ | バスパラム | バミューダ | ノシバ | ティフトン | ノシバ | ティフトン | ノシバ | ティフトン | ノシバ | バミューダ | ノシバ | ティフトン | ノシバ | ティフトン | ノシバ | ティフトン | ノシバ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 整地あり | ゴーローン | 無施肥 | ティフトン |
| | | | ノシバ |
| | | | バスパラム |
| | | 施肥 | ティフトン |
| | | | ノシバ |
| | | | バスパラム |
| 整地なし | 播種 | 無施肥 | バミューダ |
| | | | ノシバ |
| | 手播き | | ティフトン |
| | | | ノシバ |
| 整地あり | ゴーローン | | ティフトン |
| | | | ノシバ |
| | 張り芝 | | ティフトン |
| | | | ノシバ |
| 整地なし | 播種 | | バミューダ |
| | | | ノシバ |
| | 手播き | | ティフトン |
| | | | ノシバ |
| 整地あり | ゴーローン | | ティフトン |
| | | | ノシバ |
| | 張り芝 | | ティフトン |
| | | | ノシバ |

下線付き数字は、<0.05を示す。

表 付 10.2　Cs-137 の除染係数の平均値に係る t 検定結果

| | S-1 A | S-1 B | S-1 C | S-1 D | S-1 E | S-1 F | S-2 A | S-2 B | S-2 C | S-2 D | S-2 E | S-2 F | S-2 G | S-2 H | S-3 A | S-3 B | S-3 C | S-3 D | S-3 E | S-3 F | S-3 G | S-3 H |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S-1 A | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S-1 B | 0.81 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S-1 C | 0.16 | 0.41 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S-1 D | 0.33 | 0.35 | 0.04 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S-1 E | 0.69 | 0.87 | 0.54 | 0.30 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S-1 F | 0.20 | 0.46 | 0.85 | 0.05 | 0.60 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S-2 A | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| S-2 B | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.87 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | |
| S-2 C | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.08 | 0.04 | 0.02 | 0.15 | 0.07 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | |
| S-2 D | 0.68 | 0.59 | 0.09 | 0.53 | 0.50 | 0.11 | 0.08 | 0.03 | 0.05 | 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| S-2 E | 0.17 | 0.15 | 0.13 | 0.21 | 0.14 | 0.13 | 0.44 | 0.46 | 0.45 | 0.19 | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| S-2 F | 0.40 | 0.36 | 0.20 | 0.66 | 0.32 | 0.22 | 0.09 | 0.04 | 0.43 | 0.49 | 0.28 | 1.00 | | | | | | | | | | |
| S-2 G | 0.04 | 0.05 | 0.02 | 0.10 | 0.05 | 0.02 | 0.13 | 0.06 | 0.72 | 0.06 | 0.39 | 0.55 | 1.00 | | | | | | | | | |
| S-2 H | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.08 | 0.05 | 0.06 | 0.97 | 0.83 | 0.14 | 0.07 | 0.42 | 0.08 | 0.12 | 1.00 | | | | | | | | |
| S-3 A | 0.15 | 0.14 | 0.13 | 0.17 | 0.14 | 0.13 | 0.64 | 0.57 | 0.23 | 0.15 | 0.36 | 0.18 | 0.22 | 0.65 | 1.00 | | | | | | | |
| S-3 B | 0.19 | 0.21 | 0.04 | 0.55 | 0.19 | 0.05 | 0.09 | 0.04 | 0.16 | 0.29 | 0.25 | 0.89 | 0.23 | 0.09 | 0.18 | 1.00 | | | | | | |
| S-3 C | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.87 | 1.00 | 0.12 | 0.06 | 0.49 | 0.07 | 0.11 | 0.84 | 0.57 | 0.07 | 1.00 | | | | | |
| S-3 D | 0.94 | 0.77 | 0.15 | 0.33 | 0.64 | 0.17 | 0.07 | 0.03 | 0.05 | 0.71 | 0.17 | 0.41 | 0.05 | 0.07 | 0.15 | 0.19 | 0.06 | 1.00 | | | | |
| S-3 E | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 0.34 | 0.29 | 0.12 | 0.08 | 0.17 | 0.09 | 0.11 | 0.34 | 0.70 | 0.09 | 0.29 | 0.08 | 1.00 | | | |
| S-3 F | 0.38 | 0.42 | 0.04 | 0.70 | 0.36 | 0.05 | 0.09 | 0.04 | 0.08 | 0.66 | 0.20 | 0.57 | 0.10 | 0.08 | 0.16 | 0.36 | 0.07 | 0.43 | 0.09 | 1.00 | | |
| S-3 G | 0.27 | 0.24 | 0.22 | 0.35 | 0.22 | 0.22 | 0.20 | 0.18 | 0.81 | 0.30 | 0.59 | 0.46 | 0.69 | 0.19 | 0.25 | 0.41 | 0.20 | 0.29 | 0.12 | 0.34 | 1.00 | |
| S-3 H | 0.15 | 0.15 | 0.05 | 0.36 | 0.13 | 0.06 | 0.10 | 0.04 | 0.32 | 0.21 | 0.29 | 0.89 | 0.47 | 0.09 | 0.19 | 0.66 | 0.08 | 0.16 | 0.10 | 0.27 | 0.49 | 1.00 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 整地あり | | | | | | | 整地なし | | | | 整地あり | | | | 整地なし | | | | 整地あり | | | |
| ゴーローン | | | | | | | 播種 | | 手播き | | ゴーローン | | 張り芝 | | 播種 | | 手播き | | ゴーローン | | 張り芝 | |
| 無施肥 | | | 施肥 | | | | 無施肥 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ティフトン | ノシバ | バスパラム | ティフトン | ノシバ | バスパラム | バミューダ | ノシバ | ティフトン | ノシバ | ティフトン | ノシバ | ティフトン | ノシバ | バミューダ | ノシバ | ティフトン | ノシバ | ティフトン | ノシバ | ティフトン | ノシバ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 整地あり | ゴーローン | 無施肥 | ティフトン |
| | | | ノシバ |
| | | | バスパラム |
| | | 施肥 | ティフトン |
| | | | ノシバ |
| | | | バスパラム |
| 整地なし | 播種 | 無施肥 | バミューダ |
| | | | ノシバ |
| | 手播き | | ティフトン |
| | | | ノシバ |
| 整地あり | ゴーローン | | ティフトン |
| | | | ノシバ |
| | 張り芝 | | ティフトン |
| | | | ノシバ |
| 整地なし | 播種 | | バミューダ |
| | | | ノシバ |
| | 手播き | | ティフトン |
| | | | ノシバ |
| 整地あり | ゴーローン | | ティフトン |
| | | | ノシバ |
| | 張り芝 | | ティフトン |
| | | | ノシバ |

下線付き数字は、<0.05を示す。

## 2. 各種データの相関係数マトリックス

植物の育成状況（芝草及び全植物の植被率、草高）、芝草の放射能量及び濃度、土壌中の放射能及び濃度、除染効果並びに移行係数のデータ間に相関があるかを調べた。ここでは、試験サイト、芝草の品種及び施工方法については無視し、試験全体の相関の傾向を理解するための相関係数マトリックスとして示した。結果としては、植被率と草高、放射性セシウム同位体の濃度と量の様に明らかに独立でないデータの間には強い相関（例えば、相関係数の絶対値が 0.8 以上）が観察されるが、それ以外には取り立てて特徴的な関係は観察されなかった。

表 付 10.3　相関係数マトリックス

| | 芝被植被率(%) | 全植被率(%) | 草高(cm) | 芝草Cs-134量(Bq) | 芝草Cs-137量(Bq) | 芝草Cs-134濃度(Bq/g) | 芝草Cs-137濃度(Bq/g) | 土壌Cs-134量(Bq) | 土壌Cs-137量(Bq) | 土壌Cs-134濃度(Bq/g) | 土壌Cs-137濃度(Bq/g) | 除染効果Cs-134(%) | 除染効果Cs-137(%) | 移行係数Cs-134 | 移行係数Cs-137 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 芝被植被率(%) | 1.000 | | | | | | | | | | | | | | |
| 全植被率(%) | 0.784 | 1.000 | | | | | | | | | | | | | |
| 草高(cm) | 0.819 | 0.592 | 1.000 | | | | | | | | | | | | |
| 芝草Cs-134量(Bq) | 0.325 | 0.410 | 0.592 | 1.000 | | | | | | | | | | | |
| 芝草Cs-137量(Bq) | 0.347 | 0.408 | 0.603 | 0.995 | 1.000 | | | | | | | | | | |
| 芝草Cs-134濃度(Bq/g) | −0.263 | 0.106 | 0.069 | 0.721 | 0.687 | 1.000 | | | | | | | | | |
| 芝草Cs-137濃度(Bq/g) | −0.245 | 0.112 | 0.090 | 0.735 | 0.710 | 0.994 | 1.000 | | | | | | | | |
| 土壌Cs-134量(Bq) | −0.312 | 0.040 | −0.008 | 0.660 | 0.633 | 0.905 | 0.899 | 1.000 | | | | | | | |
| 土壌Cs-137量(Bq) | −0.284 | 0.053 | 0.025 | 0.675 | 0.654 | 0.902 | 0.905 | 0.995 | 1.000 | | | | | | |
| 土壌Cs-134濃度(Bq/g) | −0.311 | 0.048 | −0.044 | 0.629 | 0.600 | 0.834 | 0.822 | 0.957 | 0.934 | 1.000 | | | | | |
| 土壌Cs-137濃度(Bq/g) | −0.310 | 0.054 | −0.046 | 0.624 | 0.594 | 0.837 | 0.824 | 0.958 | 0.936 | 0.999 | 1.000 | | | | |
| 除染効果Cs-134(%) | 0.631 | 0.448 | 0.468 | 0.075 | 0.085 | −0.330 | −0.323 | −0.491 | −0.488 | −0.490 | −0.494 | 1.000 | | | |
| 除染効果Cs-137(%) | 0.621 | 0.395 | 0.455 | 0.028 | 0.046 | −0.389 | −0.379 | −0.538 | −0.535 | −0.537 | −0.542 | 0.989 | 1.000 | | |
| 移行係数Cs-134 | 0.118 | 0.180 | 0.150 | 0.192 | 0.168 | 0.239 | 0.230 | −0.148 | −0.156 | −0.164 | −0.163 | 0.530 | 0.477 | 1.000 | |
| 移行係数Cs-137 | 0.130 | 0.163 | 0.168 | 0.200 | 0.185 | 0.225 | 0.226 | −0.164 | −0.168 | −0.181 | −0.181 | 0.541 | 0.499 | 0.990 | 1.000 |

下線付き数字は、相関係数の絶対値が0.8以上のものを示す。

## 3. 各種データ間のクラスター分析結果（デンドログラム）

芝草への吸収による染効果データの距離類似性を指標にして、規則的なまとまりがあるかクラスター分析によりを調べた。用いたデータは、芝草への吸収による除染効果、植被率（芝草及び全植物）、草高等の定量的データである。ここでは、その結果をデンドログラムとして示したもののうち、代表的なものを例示する。

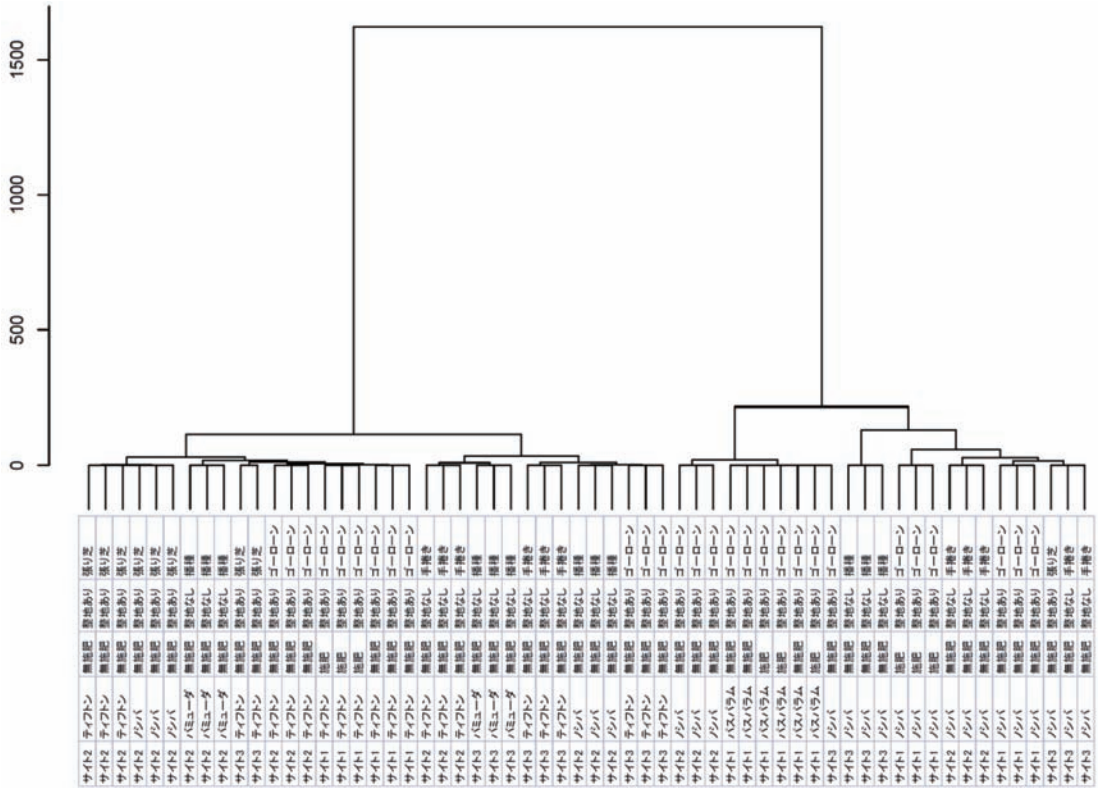



図 付 10.1　除染効果（Cs-134）-植被率（芝草）-草高

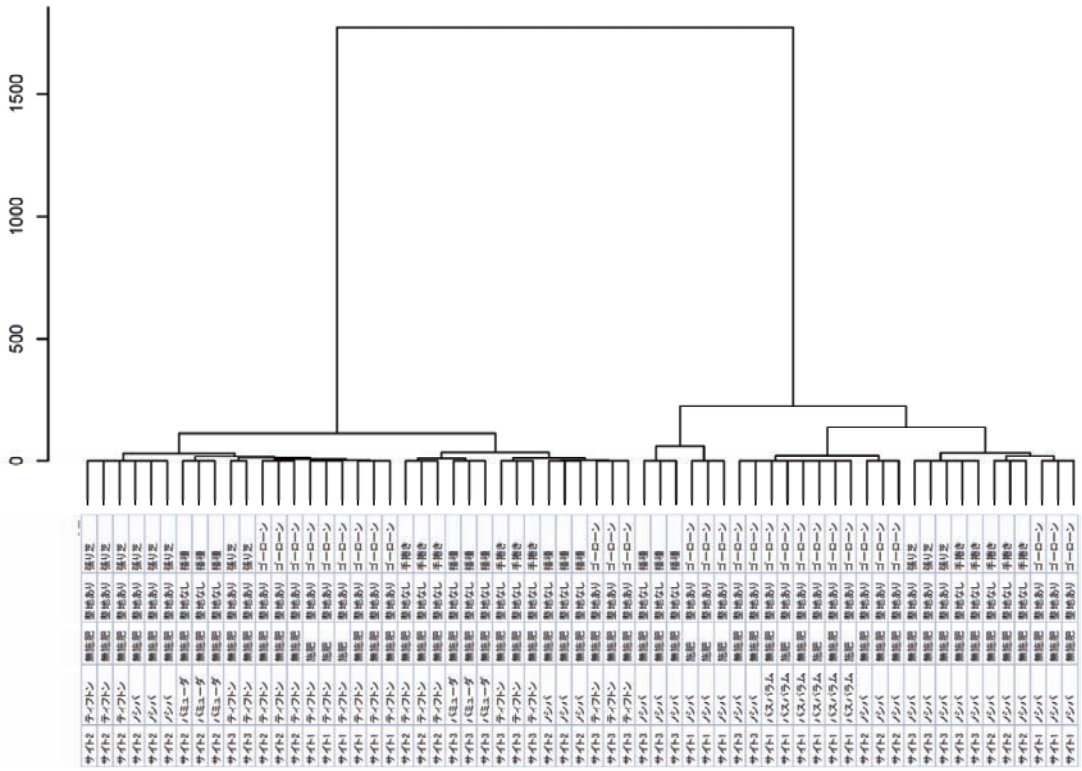



図 付 10.2　除染効果（Cs-137）-植被率（芝草）-草高

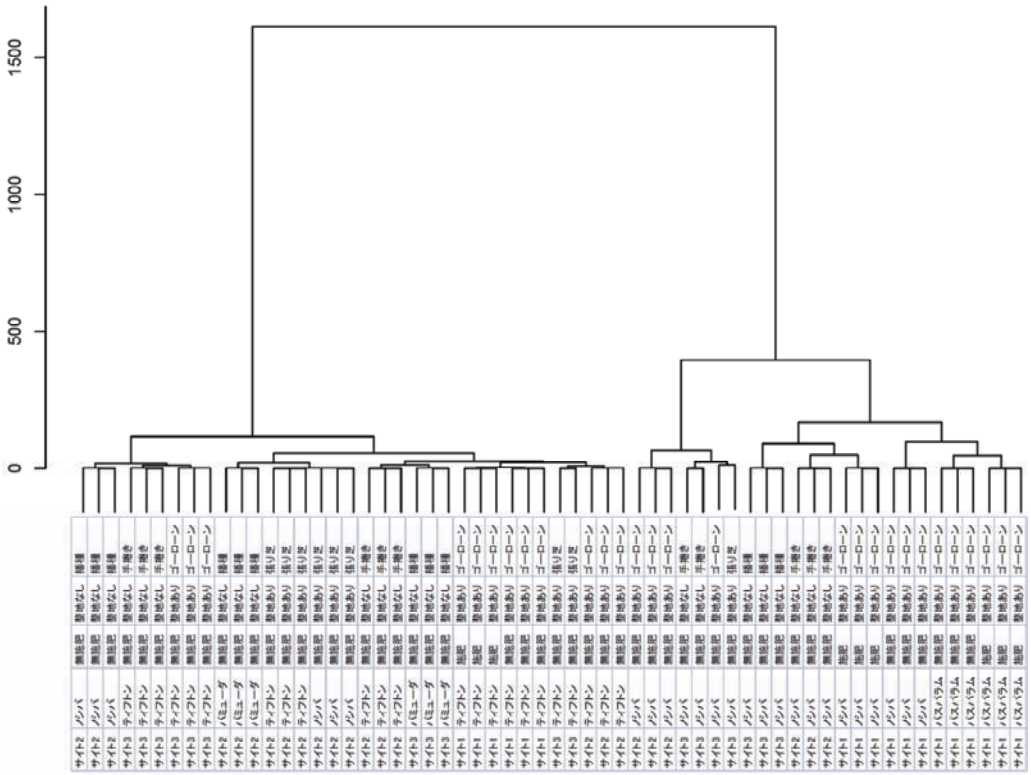



図 付 10.3　除染効果（Cs-134）-植被率（全植物）-草高

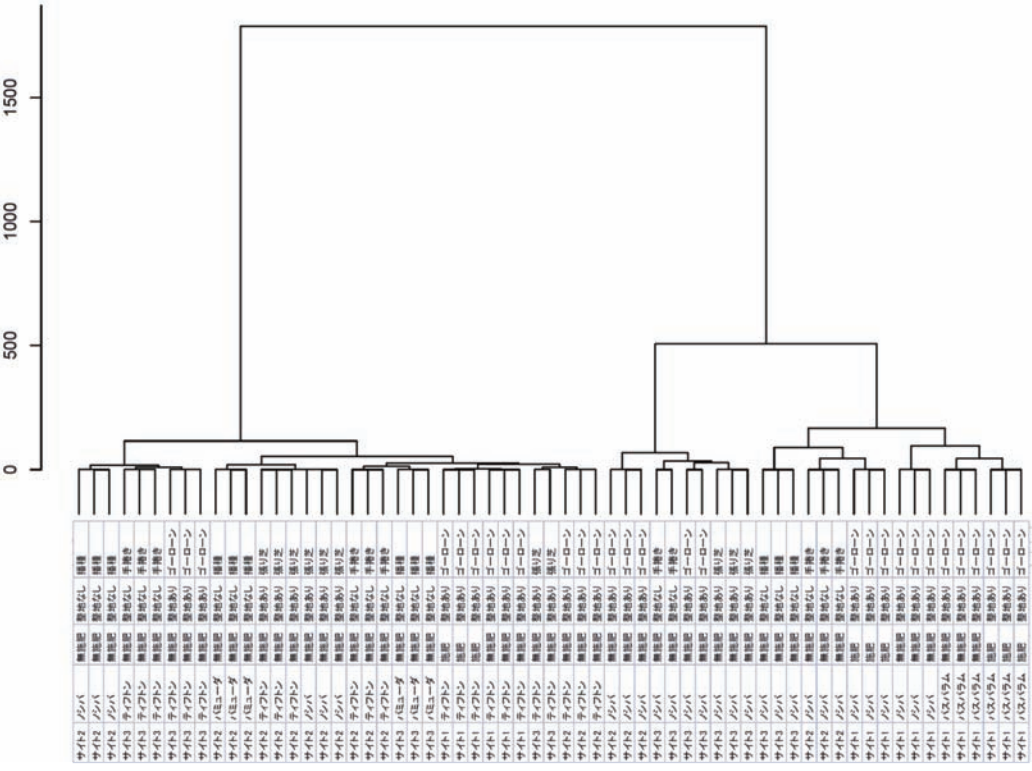



図 付 10.4　除染効果（Cs-137）-植被率（全植物）-草高

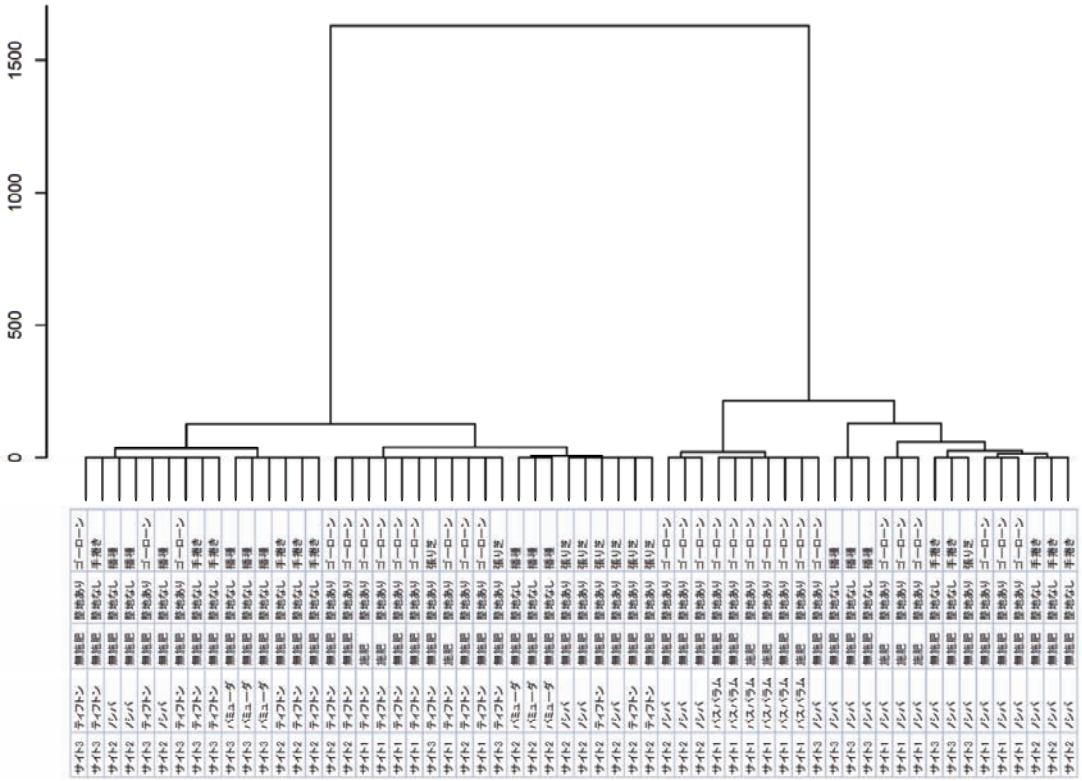



図 付 10.5　除染効果（Cs-134）-植被率（芝草）

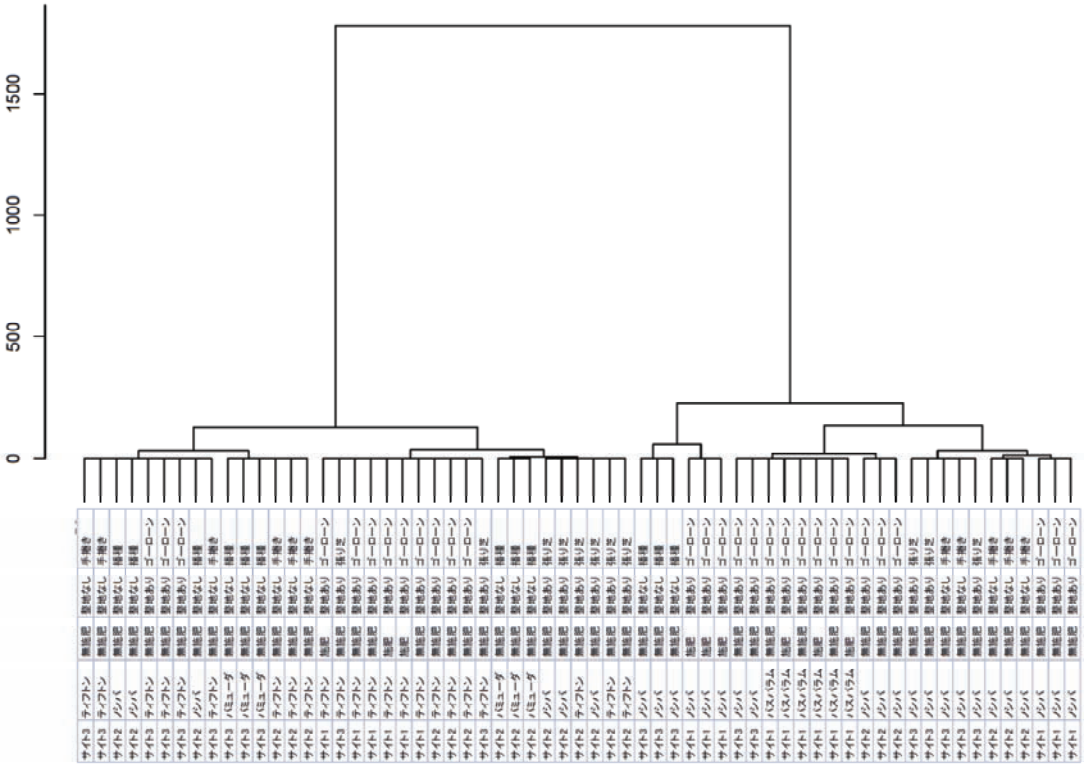



図 付 10.6　除染効果（Cs-137）-植被率（芝草）

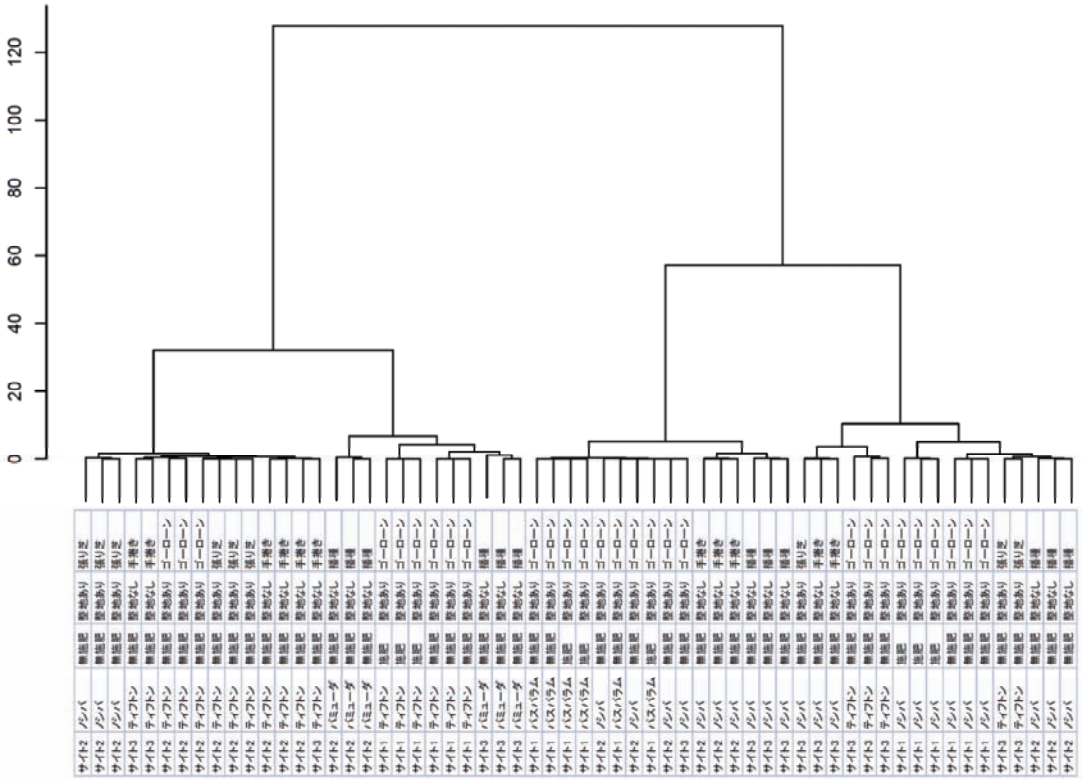



図 付 10.7　除染効果（Cs-134）-草高

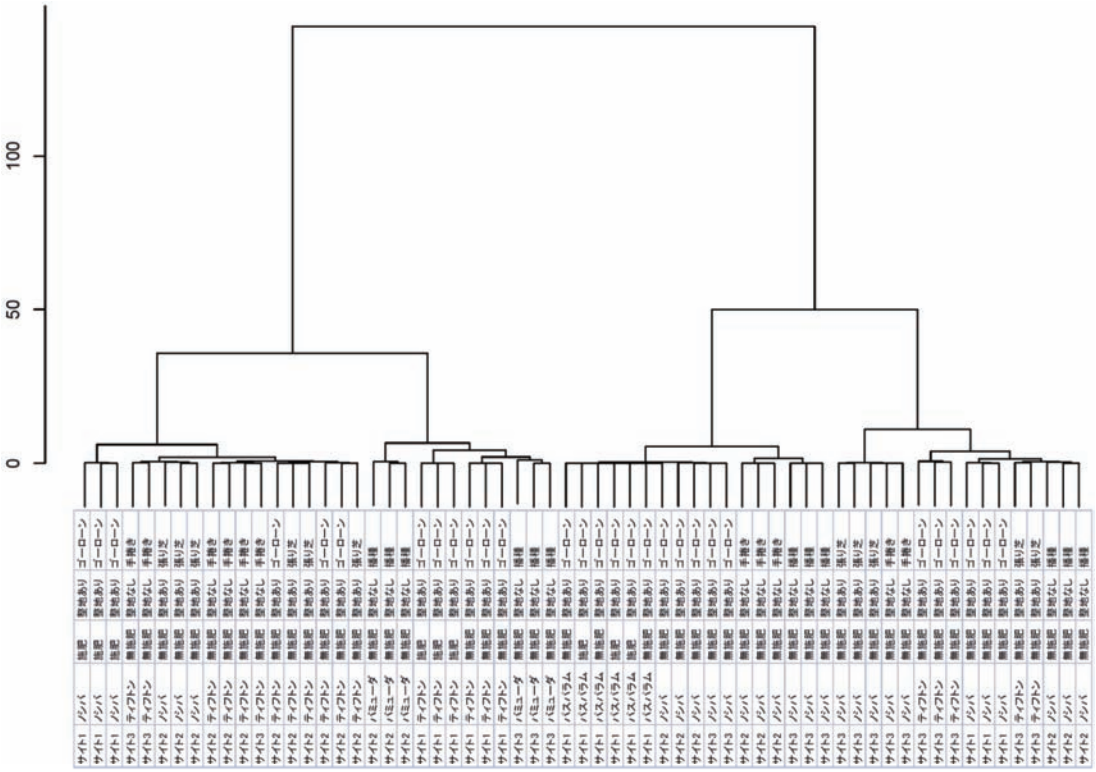



図 付 10.8　除染効果（Cs-137）-草高

付録 11　土壌中及び芝草を用いた除染に係る廃棄物中の放射性セシウム濃度について

土壌中の放射性セシウムを芝草が吸収し、その地上部（ここでは便宜上「サッチ層」と言う）を除去した際に発生する廃棄物中の放射性セシウム濃度について評価した。廃棄物の形態としては、そのまま処分あるいは利活用するものとして「サッチ層」を、さらにそのサッチ層を焼却した「焼却灰」を検討することとした。

1.　移行経路の設定及び計算方法

土壌→芝草の根→芝草の地上部（サッチ層）→焼却灰

廃棄物中濃度＝土壌濃度×移行係数×地上部放射能割合÷地上部重量割合÷地上部の乾物重/新鮮重割合×減重比

2.　パラメータの設定

①　単位面積（$m^2$）あたりの体積：5.0E-02 $m^3$

設定根拠：文部科学省「文部科学省による放射線量など分布マップ」[1]における土壌試料の採取深度（5cm）に 1$m^2$ を乗じた。

②　土壌の密度：1.0E+03 kg/$m^3$（仮定）

③　土壌から芝草への移行係数：3.0E-01 [Bq/kg-$_{芝草}$]/[Bq/kg-$_{土壌}$]

設定根拠：3.3.1 章に示す今回の試験で得られた土壌-芝草間の放射能濃度比を移行係数とみなし、その最も大きな値を採用した。なお、この芝草中濃度では、新鮮重を用いている。

④　芝草中の地上部への分配割合：0.8

設定根拠：山田ほか（印刷中）[2]に示されたバミューダグラスを用いた溶液試験におけるセシウムの地上部への分配割合（0.784）を参考に 0.8 とした。

⑤　地上部の重量割合：0.86

設定根拠：山田ほか（印刷中）[2]に示されたバミューダグラス 1 個体あたりの重量グラフから読み取った個体あたりの新鮮重（茎葉：7.6g/個体、全体：8.8g/個体）から計算した。

⑥　地上部の乾物重/新鮮重の割合：0.25

設定根拠：山田ほか（印刷中）[2]に示されたバミューダグラス 1 個体あたりの重量グラフから読みとった地上部の個体あたりの重量（乾物重：1.9g/個体、新鮮重：7.6g/個体）から計算した。

⑦　焼却時の減重比：11

設定根拠：三秋ほか（1973）[3]に示されているバミューダグラス（暖地型西洋芝）及びトールフェスク（寒地型西洋芝）の灰分（9.2～12.3%；乾燥重量ベース）から、最

も小さい 9.2%を基に 11 とした。なお、一般的な木草類の灰分については、廃棄物学会（編）（1997）[4]では 3.33%が示されている。

3. 評価結果

1kBq/m$^2$ あたりの芝草などの放射性セシウム濃度は、上記の式より、

芝草（新鮮重）　　：6.0Bq/kg

サッチ層（新鮮重）　：5.6Bq/kg

焼却灰（乾燥重）　　：243Bq/kg

となる。

参考文献

[1] 文部科学省: ”文部科学省による放射線量など分布マップ（放射性セシウムの土壌濃度マップ）の作成について（平成 23 年 8 月 30 日）”, (2011).

[2] 山田智ほか: “植物等による農地土壌等における放射性物質除去技術の開発”, JAEA-Research 2012-015, (2012).

[3] 三秋尚ほか: “飼料作物の化学的成分と飼料価値に関する研究（第 16 報）バーミューダグラス、バヒアグラス、オーチャードグラス、トールフェスクの飼料価値の比較”, 岡山大農学報 (42), p.47-53 (1973).

[4] 廃棄物学会（編）: “コンパクト版　廃棄物ハンドブック”, オーム社, (1997).

付録 12　芝草の剥ぎ取りによる除染効果データ

サイト 2

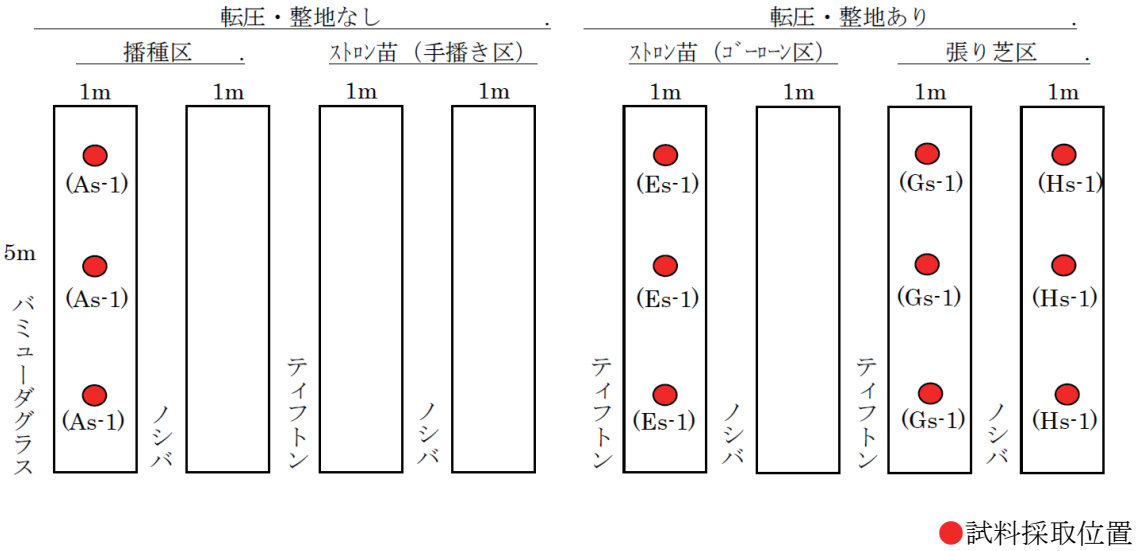



図 付 12.1　芝草の剥ぎ取りによる除染効果試料採取位置（サイト 2：田地）

表 付 12.1　芝草の剥ぎ取りによる除染効果（サイト 2：田地）

| エリア | 試料 No. | 試料 | 容器 | 重量 (g) | 放射性 Cs の量 (Bq) | | 放射性 Cs の濃度 (Bq/g) | | 除染効果 (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| A | As-① | マット | 90φ x45mm | 316 | 1.98E+03 | 2.61E+03 | 6.26E+00 | 8.25E+00 | 9.7E+01 | 9.7E+01 |
| | As-11 | 残土 | 90φ x45mm | 212 | 5.65E+01 | 7.56E+01 | 2.66E-01 | 3.56E-01 | | |
| E | Es-① | マット | 90φ x45mm | 280 | 1.98E+03 | 2.62E+03 | 7.07E+00 | 9.35E+00 | 9.6E+01 | 9.6E+01 |
| | Es-11 | 残土 | 90φ x45mm | 200 | 9.02E+01 | 1.23E+02 | 4.51E-01 | 6.15E-01 | | |
| G | Gs-① | マット | 90φ x45mm | 181 | 1.53E+03 | 2.02E+03 | 8.46E+00 | 1.12E+01 | 7.4E+01 | 7.4E+01 |
| | Gs-11 | 残土 | 90φ x45mm | 173 | 5.46E+02 | 7.15E+02 | 3.16E+00 | 4.14E+00 | | |
| H | Hs-① | マット | 90φ x45mm | 178 | 2.33E+03 | 3.06E+03 | 1.31E+01 | 1.72E+01 | 9.0E+01 | 9.0E+01 |
| | Hs-11 | 残土 | 90φ x45mm | 222 | 2.67E+02 | 3.49E+02 | 1.20E+00 | 1.57E+00 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 8.9E+01 | 8.9E+01 |

サイト 3

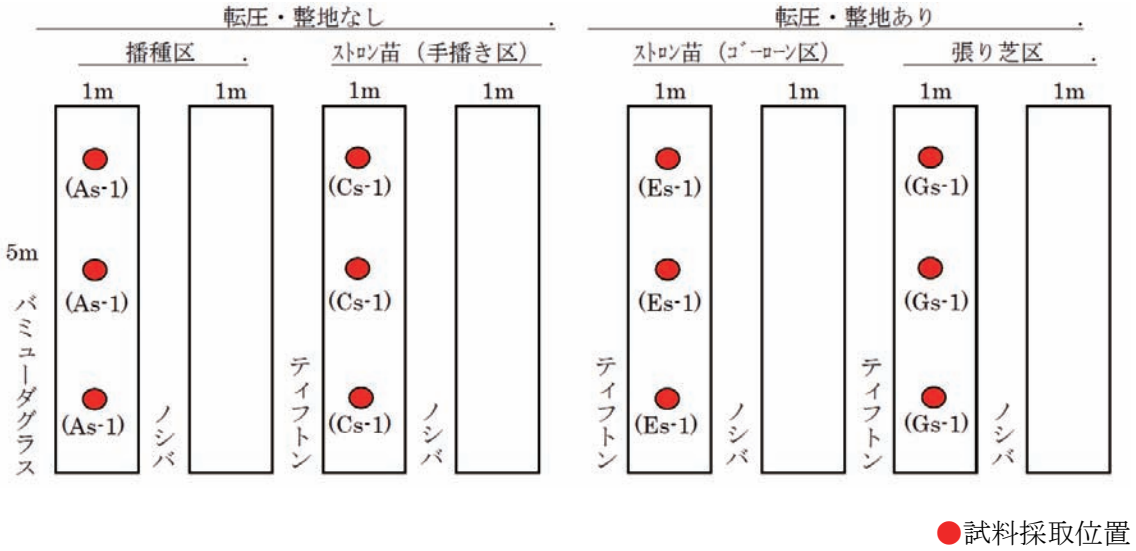



図 付 12.2　芝草の剥ぎ取りによる除染効果試料採取位置（サイト 3：田地）

表 付 12.2　芝草の剥ぎ取りによる除染効果（サイト 3：田地）

| エリア | 試料 No. | 試料 | 容器 | 重量 (g) | 放射性 Cs の量 (Bq) | | 放射性 Cs の濃度 (Bq/g) | | 除染効果 (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 | Cs-134 | Cs-137 |
| A | As-① | マット | 90φ x45mm | 292 | 1.23E+03 | 1.64E+03 | 4.22E+00 | 1.33E+00 | 9.9E+01 | 9.9E+01 |
| | As-11 | 残土 | 90φ x45mm | 148 | 9.56E+00 | 1.38E+01 | 6.48E-02 | 1.44E+00 | | |
| C | Cs-① | マット | 90φ x45mm | 268 | 1.81E+03 | 2.49E+03 | 6.76E+00 | 1.38E+00 | 9.7E+01 | 9.7E+01 |
| | Cs-11 | 残土 | 90φ x45mm | 166 | 5.87E+01 | 7.93E+01 | 3.55E-01 | 1.35E+00 | | |
| E | Es-① | マット | 90φ x45mm | 265 | 8.26E+02 | 1.11E+03 | 3.11E+00 | 1.34E+00 | 9.9E+01 | 9.9E+01 |
| | Es-11 | 残土 | 90φ x45mm | 154 | 1.10E+01 | 1.61E+01 | 7.16E-02 | 1.46E+00 | | |
| G | Gs-① | マット | 90φ x45mm | 181 | 8.47E+02 | 1.15E+03 | 4.69E+00 | 1.36E+00 | 5.2E+01 | 5.2E+01 |
| | Gs-11 | 残土 | 90φ x45mm | 137 | 7.70E+02 | 1.06E+03 | 5.62E+00 | 1.38E+00 | | |
| | | | | | | | | 平均 | 8.7E+01 | 8.7E+01 |

## 付録 13　芝草の剥ぎ取りによる除染の工数について

今回の試験は、3 つの試験サイトで合計 100m² と限られた面積で行った。したがって今後、同様の作業を一つの場所でより広い面積を対象に行う場合、係る工数は今回の試験を比較することは難しいと考えられる。ここでは、今後の作業の参考として、類似した作業についての標準的な工数（歩掛）を示すこととする。なお、ここで示す歩掛には、作業員の放射線防護上の管理や廃棄物の取扱い等に係るものは含めていないため、別途検討が必要である。

### 1.　芝地造成（植え付け、芝張りなど）

土木工事や公園植栽工で標準的なものは、張り芝となっている [1]。また、今回用いたゴーローンは、ZN 工法という方法で、法面施工用であるが標準施工歩掛りが示されている[2]。

表 付 13.1　張り芝工の歩掛[1]

（100m² あたり）

| 名称 | | 単位 | 数量 |
|---|---|---|---|
| 世話役 | | 人 | 0.2 |
| 造園工 | | 人 | 1.1 |
| 普通作業員 | | 人 | 2.3 |
| 目途使用量 | | m³ | 2.7 |
| 芝 | ベタ張 | m² | 100 |
| | 目地張 | m² | 必要量を計上 |
| 諸雑費率 | | % | 5 |

注 1：この表はベタ張、目地張に適用する。

注 2：目串を必要とする場合のみ、労務費の合計に諸雑費を計上する。

注 3：現場条件等により、これにより難しい場合は別途考慮する。

表 付 13.2　ZN 工法の歩掛[2]

（100m² あたり）

| 名称 | | 規格 | 単位 | 数量 |
|---|---|---|---|---|
| 材料費 | 二重ネット芝 | 1.15m×46m | m² | 100 |
| | ワラ（コモ）マルチ | 1m×120m | m² | 100 |
| | 竹目串 | 長さ 150mm | 本 | 400 |
| | 鉄製 U 字型ピン | 長さ 150mm | 本 | 400 |
| | 真砂土 | | m³ | 2 |
| 労務費 | 世話役 | | 人 | 1.0 |
| | 法面工 | | 人 | 1.2 |
| | 普通作業員 | | 人 | 2.6 |
| 諸雑費 | | | 式 | 1 |

注：法面工の標準歩掛を示すが、施工条件として、法面勾配 1 割 5 分までとなっている。

2.　草刈り（サッチ層除去）

サッチ層の除去のような作業については、公園における通常の除草作業や芝生地における除草作業が参考にできる。

まず、除草から廃棄物の運搬までを一連の作業として行う際の歩掛を示す。なお、除草の方法としては、人力除草及び肩掛け式の機械によるもの（機械除草 I）を参考として示す。

表 付 13.3　除草、集草、積込み、運搬の歩掛[1]

（1,000m² あたり）

| 名称 | 規格 | 単位 | 人力除草 | 機械除草 I |
|---|---|---|---|---|
| 世話役 | | 人 | 1.3 | 0.49 |
| 特殊作業員 | | 人 | - | 0.90 |
| 普通作業員 | | 人 | 7.7 | 1.1 |
| 軽作業員 | | 人 | - | 0.07 |
| 草刈機損料 | 肩掛式　カッタ径 255mm | 日 | - | 0.90 |
| トラック運転 | 2t 積 | h | 1.6 | 1.6 |
| 諸雑費率 | | % | 2 | 10 |

注 1：補助刈を含む。
注 2：障害物の除去を含む。
注 3：トラックの運転は公園内等での運搬作業である。
注 4：諸雑費はガソリン、切刃、かま、くまで、竹ぼうき、フォーク、ブルーシート等の費用であり、労務費、機械損料及び運転経費の合計額に率を乗じた金額を上限として計上する。
注 5：廃棄、処分等が必要な場合は、別途積み上げる。

次に、芝生地における、除草、芝刈、サッチ層の除去（ブラッシング）それぞれに係る歩掛を示す。

表 付 13.4　芝生地人力除草歩掛[1]

（100m² あたり）

| 名称 | 規格 | 単位 | 繁茂状態区分 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 少ない | 普通 | 多い |
| 軽作業員 | | 人 | 0.6 | 1.0 | 1.4 |
| トラック運転 | 2t 積 | 日 | 0.03 | 0.06 | 0.12 |

表 付 13.5　人力芝刈歩掛[1]

（100m² あたり）

| 名称 | 規格 | 単位 | 数量 | 摘要 |
|---|---|---|---|---|
| 造園工 | | 人 | 0.5 | |
| 普通作業員 | | 人 | 0.15 | 集草、積込、片付 |
| トラック運転 | 2t 積 | 日 | 0.038 | |

表 付 13.6　機械芝刈歩掛[1]

（1,000m² あたり）

| 名称 | 規格 | 単位 | 数量 | 摘要 |
|---|---|---|---|---|
| 普通作業員 | | 人 | 0.65 | 集草、積込、片付 |
| 芝刈機運転 | ハンドガイド式[1)] | 日 | 0.36 | |
| トラック運転 | 2t 積 | 日 | 0.38 | |

注 1：ハンドガイド式芝刈機は、5.1kW 刈幅 77cm 級としている。

表 付 13.7　人力ブラッシング歩掛[1]

（1,000m² あたり）

| 名称 | 規格 | 単位 | 数量 | 摘要 |
|---|---|---|---|---|
| 軽作業員 | | 人 | 1.0 | |
| トラック運転 | 2t 積 | 日 | 0.1 | |

3.　施肥など

これらの他、芝地の管理が必要な場合、目土入れ、施肥、薬剤散布が伴う場合がある。

表 付 13.8　人力目土入れ歩掛[1]

（100m² あたり）

| 名称 | 規格 | 単位 | 数量 | 摘要 |
|---|---|---|---|---|
| 造園工 | | 人 | 0.11 | |
| 普通作業員 | | 人 | 0.26 | |
| 目土 | 砂質土 | m³ | 0.5 | |

表 付 13.9　人力芝生施肥歩掛[1]

（100m² あたり）

| 名称 | 規格 | 単位 | 数量 | 摘要 |
|---|---|---|---|---|
| 造園工 | | 人 | 0.03 | |
| 普通作業員 | | 人 | 0.01 | |
| 肥料 | 粒状固形肥料 | kg | 6.0 | 60g/m² の場合 |

表 付 13.10　人力芝生薬剤散布歩掛[1]

（100m² あたり）

| 名称 | 規格 | 単位 | 数量 | 摘要 |
|---|---|---|---|---|
| 普通作業員 | | 人 | 0.3 | |
| 薬剤 | | ℓ | | 必要量を計上 |

表 付 13.11　動力芝生薬剤散布歩掛[1]

（1,000m² あたり）

| 名称 | 規格 | 単位 | 数量 | 摘要 |
|---|---|---|---|---|
| 特殊作業員 | | 人 | 0.2 | |
| 普通作業員 | | 人 | 0.2 | |
| 薬剤 | | ℓ | | 必要量を計上 |
| トラック運転 | 2t 積 | 日 | 0.2 | |
| 諸雑費率 | | % | 2.5 | |

参考文献

[1] 風間伸造: “造園修景積算マニュアル”, 建設物価調査会, 改訂第 11 版, (2004).

[2] ゾイシアンジャパン株式会社: “ZN 工法　特記仕様書（法面用）”, www.zoysian.co.jp/zoysian_j/formats/ZN_Koho_Norimen.pdf, （2012 年 3 月 2 日アクセス）.

## 付録 14　試験後の芝草の扱いについて

試験終了時（サイト 1：10/13、サイト 2 及び 3：10/13）には、試験用の杭を除去する等のサイト整備を行い、除草剤を散布した。11/11 にその効果を確認したところ、以下の様であった。各サイトでの芝草の状況を図 付 14.1～14.3 に示す。

1. サイト 1

○ 除草剤散布により芝草は概ね枯死していたが、一部に生残が見られた。この傾向は、特に、生育力の強いティフトンに見られたが、ノシバにも若干生残している芝草があった。

○ 今回用いた除草剤は，成長が旺盛な状態の植物にもっとも有効に作用するものである。作業実施日はすでに植物の旺盛な成長が期待できない季節であり、しかも雨天であったことから、除草剤の追加散布に十分な効果は期待できないと判断された。本サイトの除草は来春（雪解け以降）に実施するのが適切と判断された。

2. サイト 2

○ 除草剤散布により芝草は概ね枯死していたが、一部に生残が見られた。生残傾向は、生育力の強いバミューダグラスに見られた。

○ 本サイトについては、早期に耕耘・導水したいとの地権者のご要望にできるだけ応えるため、11/13 に通常濃度の 2.5～5 倍程度の除草剤を単位面積当たり 2 倍量散布した。

3. サイト 3

○ 本サイトは、地権者のご要望により、試験期間中に十分な生育の見られたバミューダグラス試験区の芝草を再利用できるように、ソッドにカットした状態で残すことも行っている。

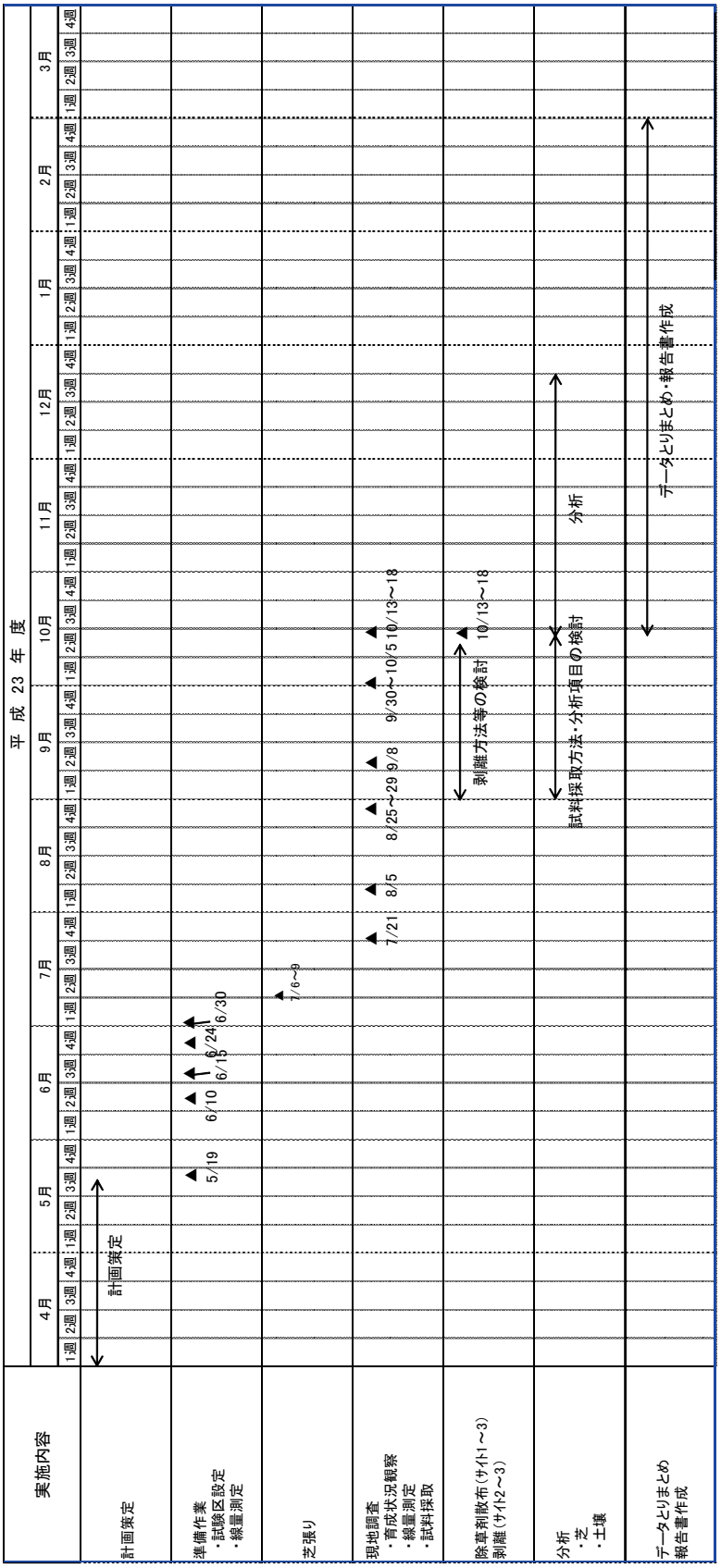
○ ソッドで残した芝草の状態は 11/11 の時点では良かったが、すでに一部の試験区で試験区外への芝のほふくが認められ、できるだけ早い時期の剥ぎ取り・畦畔等への移植が望ましいと考えられた。なお、それ以外の部分ではいずれも除草剤の効果が十分に認められ、追加の処理は不要と判断された。

図 付 14.1　除草処理後の状況（サイト 1）

図 付 14.2　除草処理後の状況（サイト 2）

図 付 14.3　除草処理後の状況（サイト 3）

付録 15　試験の現地工程表



付録 16　その他試験時に取得したデータ

1.　試験サイトにおける空間線量率

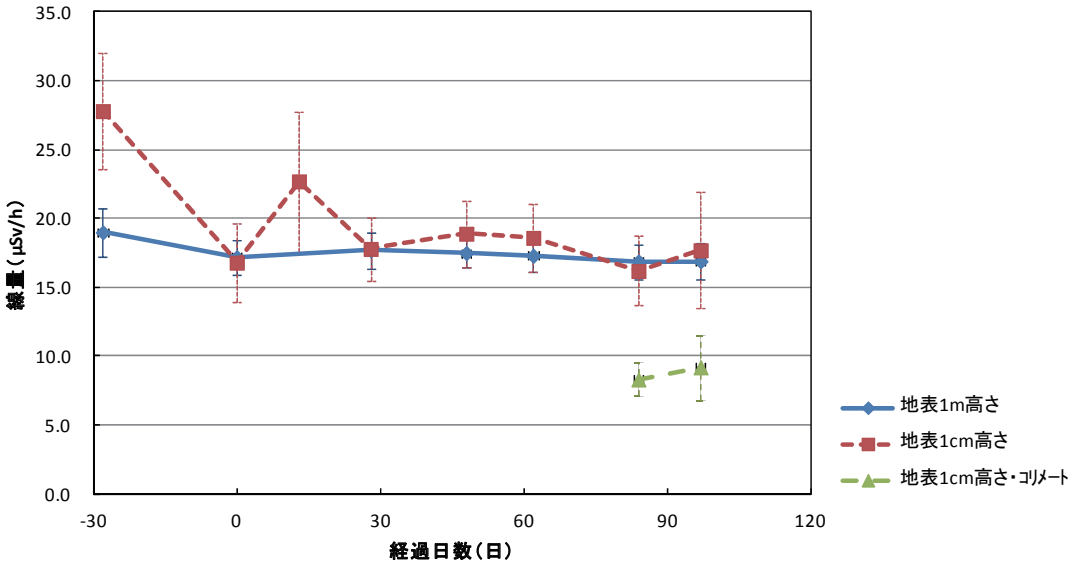



図 付 16.1　試験サイトにおける空間線量率（サイト 1）

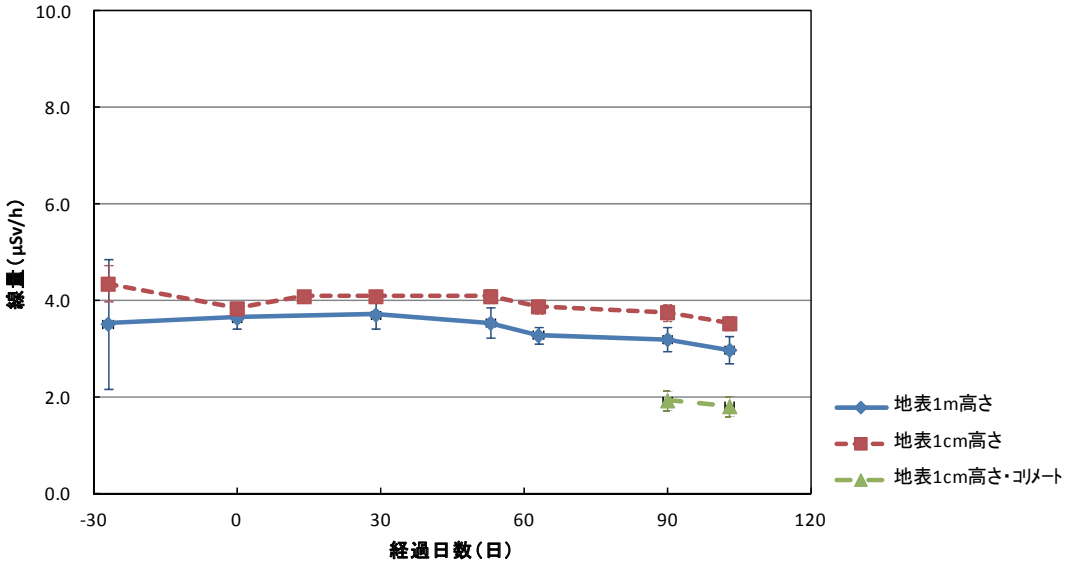



図 付 16.2　試験サイトにおける空間線量率（サイト 2）

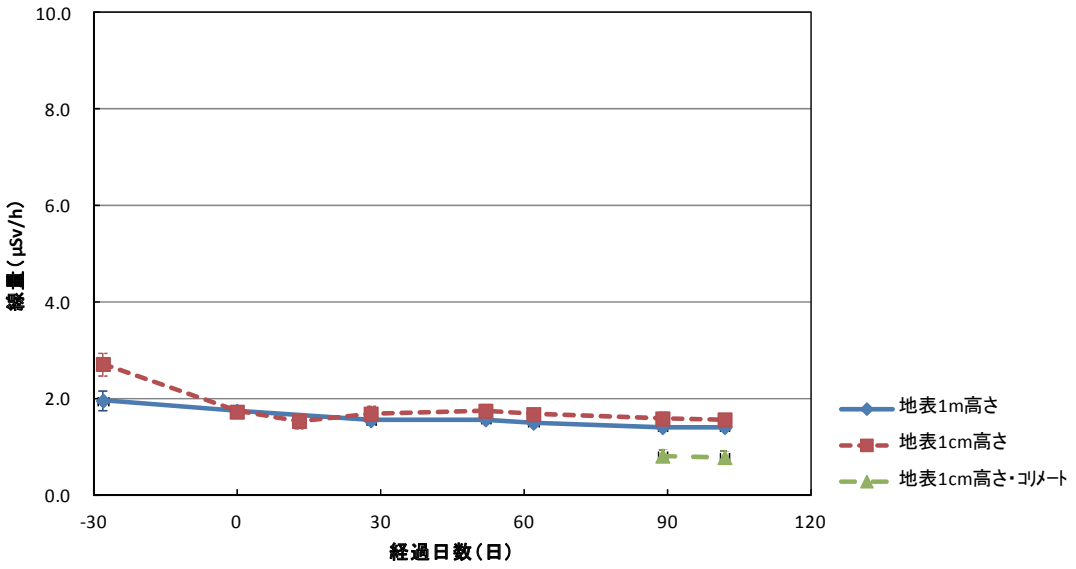



図 付 16.3　試験サイトにおける空間線量率（サイト 3）

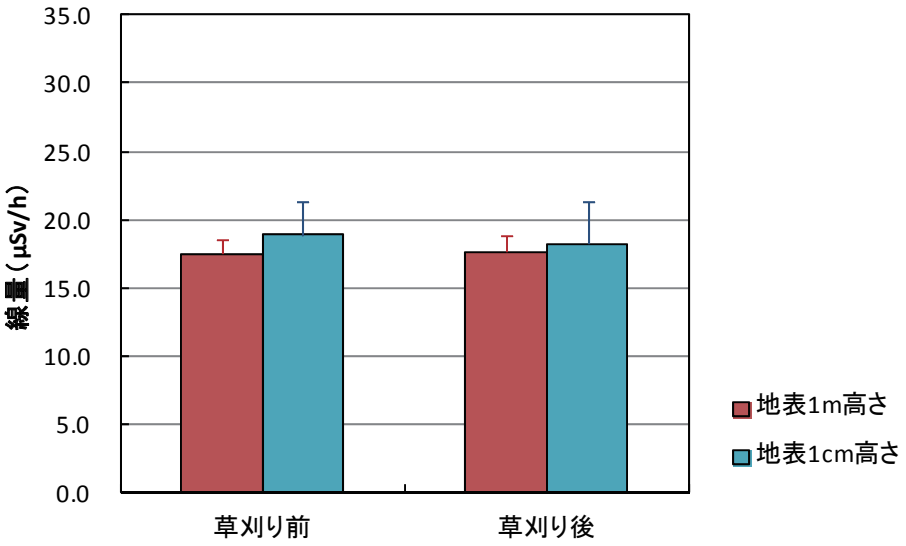



図 付 16.4　草刈処理前後の空間線量率（サイト 1；実施日 8/25）

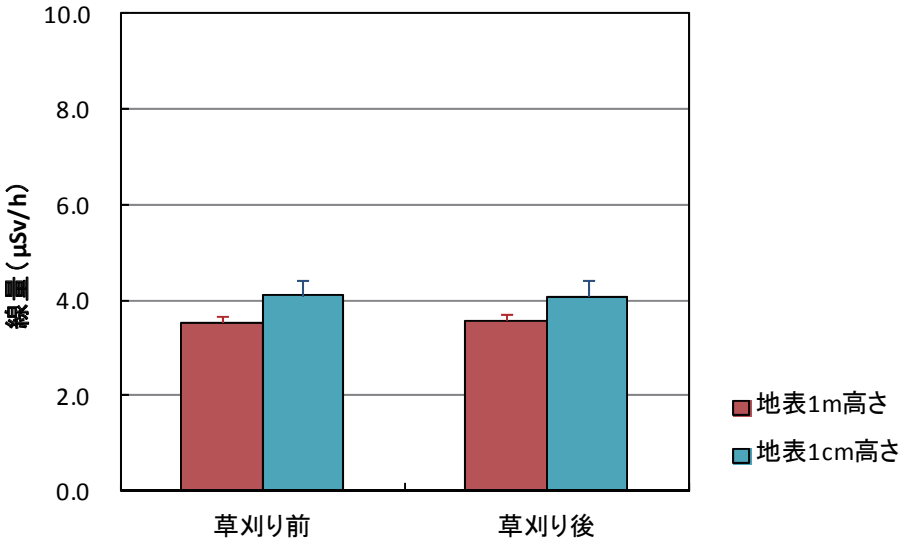



図 付 16.5　草刈処理前後の空間線量率（サイト 2；実施日 8/29）

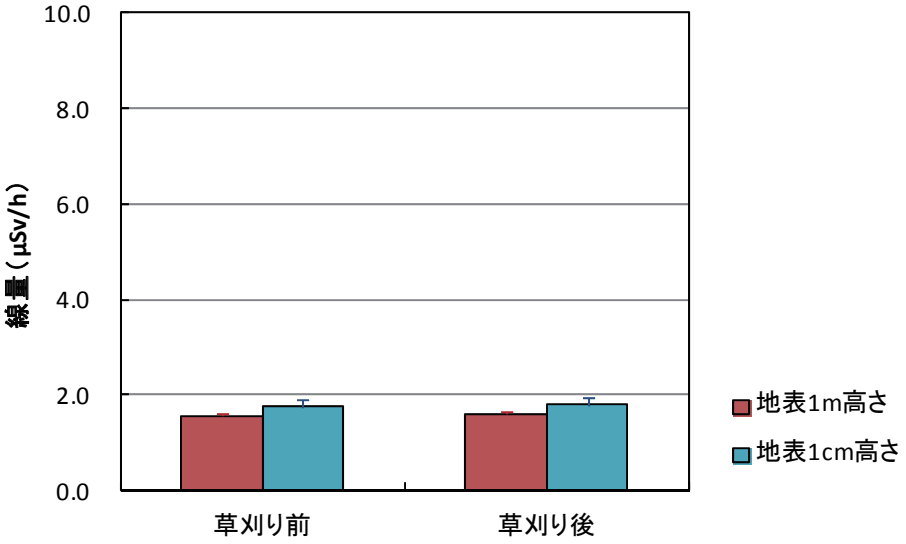



図 付 16.6　草刈処理前後の空間線量率（サイト 3；実施日 8/29）

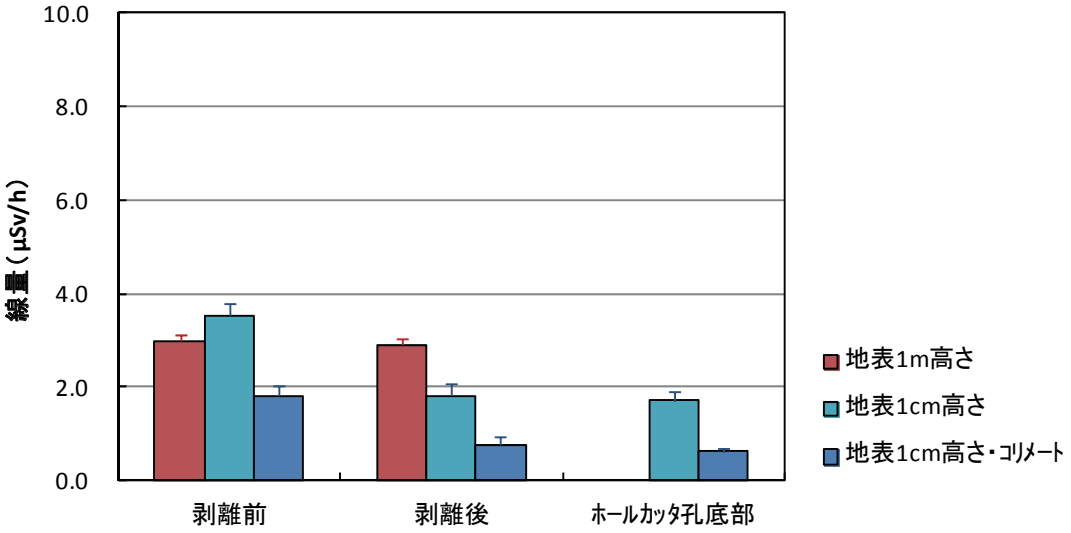



図 付 16.7　試験終了時の芝草剥離前後の線量率（サイト 2；実施日 10/18）

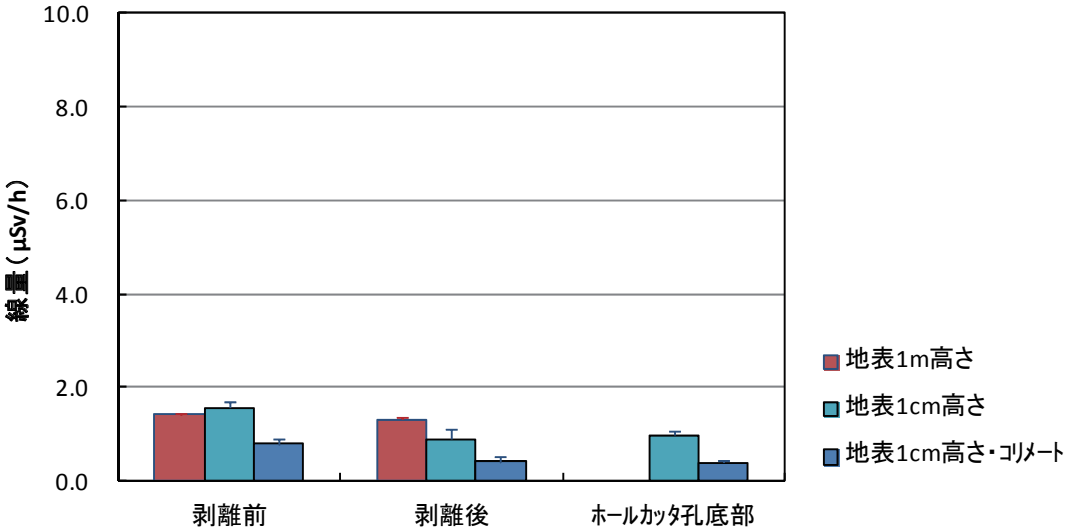



図 付 16.8　試験終了時の芝草剥離前後の線量率（サイト 3；実施日 10/18）

表 付 16.1　試験サイトにおける空間線量率（サイト 1）

（μSv/h）

| 測定日 | 6/10 | 7/8 | 7/21 | 8/5 | 8/25 | | 9/8 | 9/30 | 10/13 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 経過日数 | −28 | 0 | 13 | 28 | 48 | | 62 | 84 | 97 | |
| | | 芝施工前 | | | 草刈前 | 草刈後 | | | | ホールカッタ |
| 地表1m高さ | | | | | | | | | | |
| 平均値 | 19.0 | 17.2 | − | 17.7 | 17.5 | 17.6 | 17.3 | 16.9 | 16.9 | − |
| 標準偏差 | 1.76 | 1.25 | − | 1.30 | 1.04 | 1.30 | 1.15 | 1.26 | 1.34 | − |
| 地表1cm高さ | | | | | | | | | | 孔底部 |
| 平均値 | 27.8 | 16.8 | 22.7 | 17.8 | 18.9 | 18.2 | 18.6 | 16.2 | 17.7 | 8.6 |
| 標準偏差 | 4.24 | 2.82 | 5.09 | 2.27 | 2.41 | 3.13 | 2.46 | 2.52 | 4.19 | 1.88 |
| 地表1cm高さ・ｺﾘﾒｰﾄ | | | | | | | | | | 孔底部 |
| 平均値 | − | − | − | − | − | − | − | 8.33 | 9.21 | 3.23 |
| 標準偏差 | − | − | − | − | − | − | − | 1.18 | 2.34 | 0.87 |

注：数値はサイト内全測定値の平均及び標準偏差を示す。

表 付 16.2　試験サイトにおける空間線量率（サイト 2）

（μSv/h）

| 測定日 | 6/10 | 7/7 | 7/21 | 8/5 | 8/29 | | 9/8 | 10/5 | 10/18 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 経過日数 | −27 | 0 | 14 | 29 | 53 | | 63 | 90 | 103 | | |
| | 芝施工前 | | | | 草刈前 | 草刈後 | | | 剥離前 | 剥離後 | ホールカッタ |
| 地表1m高さ | | | | | | | | | | | |
| 平均値 | 3.52 | 3.64 | − | 3.71 | 3.54 | 3.57 | 3.28 | 3.20 | 2.98 | 2.91 | − |
| 標準偏差 | 0.37 | 0.11 | − | 0.08 | 0.13 | 0.12 | 0.14 | 0.17 | 0.13 | 0.11 | − |
| 地表1cm高さ | | | | | | | | | | | 孔底部 |
| 平均値 | 4.35 | 3.84 | 4.09 | 4.09 | 4.09 | 4.08 | 3.88 | 3.76 | 3.53 | 1.81 | 1.71 |
| 標準偏差 | 1.34 | 0.22 | 0.35 | 0.29 | 0.31 | 0.33 | 0.18 | 0.26 | 0.28 | 0.27 | 0.18 |
| 地表1cm高さ・ｺﾘﾒｰﾄ | | | | | | | | | | | 孔底部 |
| 平均値 | − | − | − | − | − | − | − | 1.93 | 1.81 | 0.76 | 0.62 |
| 標準偏差 | − | − | − | − | − | − | − | 0.20 | 0.21 | 0.17 | 0.08 |

注：数値はサイト内全測定値の平均及び標準偏差を示す。

表 付 16.3　試験サイトにおける空間線量率（サイト 3）

（μSv/h）

| 測定日 | 6/10 | 7/8 | 7/21 | 8/5 | 8/29 | | 9/8 | 10/5 | 10/18 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 経過日数 | −28 | 0 | 13 | 28 | 52 | | 62 | 89 | 102 | | |
| | 芝施工前 | | | | 草刈前 | 草刈後 | | | 剥離前 | 剥離後 | ホールカッタ |
| 地表1m高さ | | | | | | | | | | | |
| 平均値 | 1.96 | 1.75 | − | 1.55 | 1.57 | 1.60 | 1.50 | 1.41 | 1.41 | 1.32 | − |
| 標準偏差 | 0.21 | 0.05 | − | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | − |
| 地表1cm高さ | | | | | | | | | | | 孔底部 |
| 平均値 | 2.72 | 1.73 | 1.54 | 1.69 | 1.75 | 1.79 | 1.68 | 1.59 | 1.57 | 0.90 | 0.97 |
| 標準偏差 | 0.23 | 0.12 | 0.16 | 0.16 | 0.15 | 0.18 | 0.07 | 0.14 | 0.14 | 0.20 | 0.11 |
| 地表1cm高さ・ｺﾘﾒｰﾄ | | | | | | | | | | | 孔底部 |
| 平均値 | − | − | − | − | − | − | − | 0.82 | 0.79 | 0.40 | 0.39 |
| 標準偏差 | − | − | − | − | − | − | − | 0.12 | 0.13 | 0.14 | 0.05 |

注：数値はサイト内全測定値の平均及び標準偏差を示す。

## 2. 試験サイト周辺における土壌中濃度

表 付 16.4　サイト 2 ビニルハウス内土壌の放射能濃度

(Bq/kg) [1)]

| | I-131 | Cs-134 | Cs-137 | K-40 [2)] |
|---|---|---|---|---|
| 深さ<br>0～5cm | ＜3.33E+01 | 1.03E+02<br>±9.01E+00 | 7.89E+01<br>±7.43E+00 | 4.94E+02<br>±6.18E+01 |
| 深さ<br>5cm～ | ＜3.04E+01 | 5.38E+01<br>±6.7E+00 | ＜4.55E+01 | 5.40E+02<br>±6.56+01 |

1) 比重を 1 と仮定した。
2) 参考として天然放射性核種である K-40 も測定した。
試料採取日：平成 23 年 8 月 5 日
分析実施日：平成 23 年 8 月 11 日

表 付 16.5　サイト 2 周辺田地土壌の放射能濃度（耕耘、代かき実施後）

| | | 放射能濃度(Bq/kg) | | | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Cs-134 | Cs-137 | 合計 | |
| 田地 1 [1)] | 1 | 2.98.E+03 | 3.94.E+03 | 6.91.E+03 | 3/11 以降に 3 回代かきを実施 |
| | 2 | 3.05.E+03 | 4.11.E+03 | 7.15.E+03 | |
| | 平均値 | 3.01.E+03 | 4.02.E+03 | 7.03.E+03 | |
| 田地 2 [1)] | 1 | 2.41.E+03 | 3.18.E+03 | 5.59.E+03 | 3/11 以降に 2 回耕耘を実施 |
| | 2 | 3.19.E+03 | 4.21.E+03 | 7.40.E+03 | |
| | 平均値 | 2.80.E+03 | 3.69.E+03 | 6.49.E+03 | |
| サイト 2 土壌（田地）[2)] | 1 | 3.07.E+03 | 4.03.E+03 | 7.10.E+03 | 深さ 10cm までの平均値 |
| | 2 | 8.90.E+02 | 1.18.E+03 | 2.07.E+03 | 深さ 10cm までの平均値 |

1) 試料採取日：平成 23 年 10 月 23 日
2) 試料採取日：平成 23 年 8 月 29 日、未擾乱試料

3. 試験サイト周辺における水中濃度

表 付 16.6　試験サイト周辺における水中濃度

| サイト | 種類 | pH | I-131 | Cs-134 | Cs-137 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | (Bq/ml) | (Bq/ml) | (Bq/ml) |
| サイト 1 | 農業用水 | 7.0 | n.d. | 0.012 | 0.012 |
| サイト 2 | 農業用水 | 8.0 | n.d. | 0.005 | 0.006 |
| | 井戸水 | 7.4 | n.d. | 0.009 | 0.01 |
| | 水道水 | 6.5 | n.d. | 0.006 | n.d. |
| サイト 3 | 農業用水 | 7.3 | n.d. | 0.008 | 0.015 |
| | 井戸水 | 6.1 | n.d. | n.d. | n.d. |
| 基準値 | | 5.8～8.6[1)] | 0.3[2)] | 0.2[2)] | 0.2[2)] |

1) 水道法に基づく水質基準
2)「原子力施設等の防災対策について（原子力安全委員会）」飲食物の摂取制限に関する指標に基づく飲料水の基準
試料採取日：平成 23 年 6 月 10 日

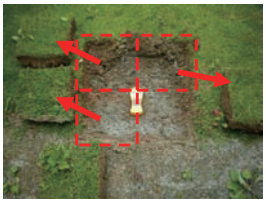
## 4. 事故前から植栽されていた芝草の剥離による効果

### ① 今回の試験サイトでの剥離試験　（7月21日実施）

（サイト1 浪江町・計画的避難区域）

| | | 芝剥離前（μSv/h） | 芝剥離後（μSv/h） | 低減率 |
|---|---|---|---|---|
| 芝または土壌表面 | 1区画 | 42.30 | 12.42 | 70% |
| | 4区画 | | 10.77 | 75% |

注：測定値は，1cm高さでの値を示す。
　1区画は，30cm×30cmの範囲，深さ6～10cmである。



濃度測定結果（8月5日採取）

Cs-134 31,300Bq/kg
Cs-137 34,300Bq/kg
（芝及び土壌。土壌の密度を1g/mlと仮定。）

### ② 深刈りによる芝生除染試験

（伊達市保原総合運動公園にてJAEA福島支援本部企画調整部が実施）

| | | 除染前（μSv/h） | 除染後（μSv/h） | 低減率 |
|---|---|---|---|---|
| 刈り払い機（手刈り・高麗芝） | 1.5cm深刈り | 1.01 | 0.20 | 80% |
| 刈り払い機（手刈り・野芝） | 2cm深刈り | 0.81 | 0.25 | 70% |
| 刈り払い機（ソッドカッター・高麗芝） | 2cm深刈り | 0.90 | 0.54 | 40% |
| 刈り払い機（ソッドカッター・野芝） | 2cm深刈り | 0.93 | 0.3 | 68% |
| 刈り払い機（フィールドトップメーカ＋ロードスイーパー，野芝） | 2cm深刈り | 1.06 | 0.25 | 76% |

注：データは，効果が大きく認められる条件での値を用いた。
　測定値は，コリメータによる測定結果を示す。

### ③ 牧草地の切り取りと回収試験

（飯館村での農水省　農地土壌除染技術開発 実証試験）

表１：飯舘現地の土壌中の放射性セシウムの値（単位：Bq/kg）

| 試料の内容（剥ぎ取り設定深度） | 乾土 $^{134}$Cs | 乾土 $^{137}$Cs | 乾土 Cs 合計 | 低減率（%） |
|---|---|---|---|---|
| 剥ぎ取り前（５点の混合） | 6, 394 | 5, 485 | 13, 630 | — |
| 5 cm | 80 | 97 | 177 | 98. 5 |
| 3 cm | 147 | 180 | 327 | 97. 2 |

注）土壌のサンプルについては 15cm の深さである。

出典：農地土壌の放射性物質除去技術（除染技術）について，農林水産会議（平成23年9月14日）

This is a blank page.

# 国際単位系（SI）

表１．SI 基本単位

| 基本量 | SI 基本単位 | |
|---|---|---|
| | 名称 | 記号 |
| 長さ | メートル | m |
| 質量 | キログラム | kg |
| 時間 | 秒 | s |
| 電流 | アンペア | A |
| 熱力学温度 | ケルビン | K |
| 物質量 | モル | mol |
| 光度 | カンデラ | cd |

表２．基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

| 組立量 | SI 基本単位 | |
|---|---|---|
| | 名称 | 記号 |
| 面積 | 平方メートル | $m^2$ |
| 体積 | 立法メートル | $m^3$ |
| 速さ，速度 | メートル毎秒 | m/s |
| 加速度 | メートル毎秒毎秒 | $m/s^2$ |
| 波数 | 毎メートル | $m^{-1}$ |
| 密度，質量密度 | キログラム毎立方メートル | $kg/m^3$ |
| 面積密度 | キログラム毎平方メートル | $kg/m^2$ |
| 比体積 | 立方メートル毎キログラム | $m^3/kg$ |
| 電流密度 | アンペア毎平方メートル | $A/m^2$ |
| 磁界の強さ | アンペア毎メートル | A/m |
| 量濃度[a]，濃度 | モル毎立方メートル | $mol/m^3$ |
| 質量濃度 | キログラム毎立法メートル | $kg/m^3$ |
| 輝度 | カンデラ毎平方メートル | $cd/m^2$ |
| 屈折率[b] | （数字の） 1 | 1 |
| 比透磁率[b] | （数字の） 1 | 1 |

(a) 量濃度（amount concentration）は臨床化学の分野では物質濃度（substance concentration）ともよばれる。
(b) これらは無次元量あるいは次元１をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の１は通常は表記しない。

表３．固有の名称と記号で表されるSI組立単位

| 組立量 | SI 組立単位 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 名称 | 記号 | 他のSI単位による表し方 | SI基本単位による表し方 |
| 平面角 | ラジアン[b] | rad | 1 [b] | m/m |
| 立体角 | ステラジアン[b] | sr[c] | 1 [b] | $m^2/m^2$ |
| 周波数 | ヘルツ[d] | Hz | | $s^{-1}$ |
| 力 | ニュートン | N | | $m\ kg\ s^{-2}$ |
| 圧力，応力 | パスカル | Pa | $N/m^2$ | $m^{-1}\ kg\ s^{-2}$ |
| エネルギー，仕事，熱量 | ジュール | J | N m | $m^2\ kg\ s^{-2}$ |
| 仕事率，工率，放射束 | ワット | W | J/s | $m^2\ kg\ s^{-3}$ |
| 電荷，電気量 | クーロン | C | | s A |
| 電位差（電圧），起電力 | ボルト | V | W/A | $m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$ |
| 静電容量 | ファラド | F | C/V | $m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$ |
| 電気抵抗 | オーム | Ω | V/A | $m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$ |
| コンダクタンス | ジーメンス | S | A/V | $m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$ |
| 磁束 | ウエーバ | Wb | Vs | $m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$ |
| 磁束密度 | テスラ | T | $Wb/m^2$ | $kg\ s^{-2}\ A^{-1}$ |
| インダクタンス | ヘンリー | H | Wb/A | $m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$ |
| セルシウス温度 | セルシウス度[e] | ℃ | | K |
| 光束 | ルーメン | lm | cd sr[c] | cd |
| 照度 | ルクス | lx | $lm/m^2$ | $m^{-2}\ cd$ |
| 放射性核種の放射能[f] | ベクレル[d] | Bq | | $s^{-1}$ |
| 吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ | グレイ | Gy | J/kg | $m^2\ s^{-2}$ |
| 線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量 | シーベルト[g] | Sv | J/kg | $m^2\ s^{-2}$ |
| 酸素活性 | カタール | kat | | $s^{-1}\ mol$ |

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の１に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の１は明示されない。
(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f)放射性核種の放射能（activity referred to a radionuclide）は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g)単位シーベルト（PV,2002,70,205）についてはCIPM勧告2（CI-2002）を参照。

表４．単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

| 組立量 | SI 組立単位 | | |
|---|---|---|---|
| | 名称 | 記号 | SI 基本単位による表し方 |
| 粘度 | パスカル秒 | Pa s | $m^{-1}\ kg\ s^{-1}$ |
| 力のモーメント | ニュートンメートル | N m | $m^2\ kg\ s^{-2}$ |
| 表面張力 | ニュートン毎メートル | N/m | $kg\ s^{-2}$ |
| 角速度 | ラジアン毎秒 | rad/s | $m\ m^{-1}\ s^{-1}=s^{-1}$ |
| 角加速度 | ラジアン毎秒毎秒 | $rad/s^2$ | $m\ m^{-1}\ s^{-2}=s^{-2}$ |
| 熱流密度，放射照度 | ワット毎平方メートル | $W/m^2$ | $kg\ s^{-3}$ |
| 熱容量，エントロピー | ジュール毎ケルビン | J/K | $m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}$ |
| 比熱容量，比エントロピー | ジュール毎キログラム毎ケルビン | J/(kg K) | $m^2\ s^{-2}\ K^{-1}$ |
| 比エネルギー | ジュール毎キログラム | J/kg | $m^2\ s^{-2}$ |
| 熱伝導率 | ワット毎メートル毎ケルビン | W/(m K) | $m\ kg\ s^{-3}\ K^{-1}$ |
| 体積エネルギー | ジュール毎立方メートル | $J/m^3$ | $m^{-1}\ kg\ s^{-2}$ |
| 電界の強さ | ボルト毎メートル | V/m | $m\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$ |
| 電荷密度 | クーロン毎立方メートル | $C/m^3$ | $m^{-3}\ sA$ |
| 表面電荷 | クーロン毎平方メートル | $C/m^2$ | $m^{-2}\ sA$ |
| 電束密度，電気変位 | クーロン毎平方メートル | $C/m^2$ | $m^{-2}\ sA$ |
| 誘電率 | ファラド毎メートル | F/m | $m^{-3}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$ |
| 透磁率 | ヘンリー毎メートル | H/m | $m\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$ |
| モルエネルギー | ジュール毎モル | J/mol | $m^2\ kg\ s^{-2}\ mol^{-1}$ |
| モルエントロピー, モル熱容量 | ジュール毎モル毎ケルビン | J/(mol K) | $m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}\ mol^{-1}$ |
| 照射線量（X線及びγ線） | クーロン毎キログラム | C/kg | $kg^{-1}\ sA$ |
| 吸収線量率 | グレイ毎秒 | Gy/s | $m^2\ s^{-3}$ |
| 放射強度 | ワット毎ステラジアン | W/sr | $m^4\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=m^2\ kg\ s^{-3}$ |
| 放射輝度 | ワット毎平方メートル毎ステラジアン | $W/(m^2\ sr)$ | $m^2\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=kg\ s^{-3}$ |
| 酵素活性濃度 | カタール毎立方メートル | $kat/m^3$ | $m^{-3}\ s^{-1}\ mol$ |

表５．SI 接頭語

| 乗数 | 接頭語 | 記号 | 乗数 | 接頭語 | 記号 |
|---|---|---|---|---|---|
| $10^{24}$ | ヨタ | Y | $10^{-1}$ | デシ | d |
| $10^{21}$ | ゼタ | Z | $10^{-2}$ | センチ | c |
| $10^{18}$ | エクサ | E | $10^{-3}$ | ミリ | m |
| $10^{15}$ | ペタ | P | $10^{-6}$ | マイクロ | μ |
| $10^{12}$ | テラ | T | $10^{-9}$ | ナノ | n |
| $10^{9}$ | ギガ | G | $10^{-12}$ | ピコ | p |
| $10^{6}$ | メガ | M | $10^{-15}$ | フェムト | f |
| $10^{3}$ | キロ | k | $10^{-18}$ | アト | a |
| $10^{2}$ | ヘクト | h | $10^{-21}$ | ゼプト | z |
| $10^{1}$ | デカ | da | $10^{-24}$ | ヨクト | y |

表６．SIに属さないが、SIと併用される単位

| 名称 | 記号 | SI 単位による値 |
|---|---|---|
| 分 | min | 1 min=60s |
| 時 | h | 1h =60 min=3600 s |
| 日 | d | 1 d=24 h=86 400 s |
| 度 | ° | 1°=(π/180) rad |
| 分 | ’ | 1’=(1/60)°=(π/10800) rad |
| 秒 | ” | 1”=(1/60)’=(π/648000) rad |
| ヘクタール | ha | $1ha=1hm^2=10^4m^2$ |
| リットル | L，l | $1L=1=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$ |
| トン | t | $1t=10^3\ kg$ |

表７．SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

| 名称 | 記号 | SI 単位で表される数値 |
|---|---|---|
| 電子ボルト | eV | $1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$ |
| ダルトン | Da | $1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$ |
| 統一原子質量単位 | u | 1u=1 Da |
| 天文単位 | ua | $1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$ |

表８．SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

| 名称 | 記号 | SI 単位で表される数値 |
|---|---|---|
| バール | bar | $1\ bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa$ |
| 水銀柱ミリメートル | mmHg | 1mmHg=133.322Pa |
| オングストローム | Å | $1\ Å=0.1nm=100pm=10^{-10}m$ |
| 海里 | M | 1 M=1852m |
| バーン | b | $1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)2=10^{-28}m^2$ |
| ノット | kn | 1 kn=(1852/3600)m/s |
| ネーパ | Np | SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。 |
| ベル | B | |
| デジベル | dB | |

表９．固有の名称をもつCGS組立単位

| 名称 | 記号 | SI 単位で表される数値 |
|---|---|---|
| エルグ | erg | $1\ erg=10^{-7}\ J$ |
| ダイン | dyn | $1\ dyn=10^{-5}N$ |
| ポアズ | P | $1\ P=1\ dyn\ s\ cm^{-2}=0.1Pa\ s$ |
| ストークス | St | $1\ St=1cm^2\ s^{-1}=10^{-4}m^2\ s^{-1}$ |
| スチルブ | sb | $1\ sb=1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$ |
| フォト | ph | $1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$ |
| ガル | Gal | $1\ Gal=1cm\ s^{-2}=10^{-2}ms^{-2}$ |
| マクスウェル | Mx | $1\ Mx = 1G\ cm^2=10^{-8}Wb$ |
| ガウス | G | $1\ G =1Mx\ cm^{-2} =10^{-4}T$ |
| エルステッド[c] | Oe | $1\ Oe \triangleq (10^3/4\pi)A\ m^{-1}$ |

(c) ３元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≙ 」は対応関係を示すものである。

表10．SIに属さないその他の単位の例

| 名称 | 記号 | SI 単位で表される数値 |
|---|---|---|
| キュリー | Ci | $1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$ |
| レントゲン | R | $1\ R = 2.58\times10^{-4}C/kg$ |
| ラド | rad | $1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$ |
| レム | rem | $1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$ |
| ガンマ | γ | 1 γ =1 nT=10-9T |
| フェルミ | | 1フェルミ=1 fm=10-15m |
| メートル系カラット | | 1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg |
| トル | Torr | 1 Torr = (101 325/760) Pa |
| 標準大気圧 | atm | 1 atm = 101 325 Pa |
| カロリー | cal | 1cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー）4.184J（「熱化学」カロリー） |
| ミクロン | μ | $1\ \mu =1\mu m=10^{-6}m$ |

（第8版，2006年改訂）

この印刷物は再生紙を使用しています