

土壌環境コントロールシステムを利用した芝草の冬期播種・生育試験

Sowing and Growth of Sports Turf in Winter Using a Soil Environment Control System

通 山 忠 治 佐 藤 健 司
柳 雅 之¹⁾ 瀬 戸 眞²⁾

要 約

2002年サッカー・ワールドカップ日韓共催を控えて、国内開催都市で競技場の新設やリニューアル工事が行われている。当社でも埼玉スタジアム2002を含めて全国で4カ所の競技場の新築工事（2000年6月現在、1カ所竣工、3カ所施工中）を行っている。埼玉スタジアム2002では、工程上、グラウンドの施工が芝種子の発芽と生育にとって厳しい冬期となることから、新たな芝草の冬期播種やターフ形成方法が求められていた。そこで、当社で開発した土壌環境コントロールシステムによる土壌環境制御が芝草の発芽、地表面被覆、スポーツターフの形成、生育量並びに養分吸収量などに及ぼす影響に関する実証試験を行った。試験は、技術研究所緑化試験場（千葉市）において1998年11月～2000年6月の2冬期間実施した。その結果、本システムの適用で良好な土壌環境を維持することで、厳冬期であっても芝草の発芽およびターフ形成が可能であることが確認され、冬期の芝草生育に必要な播種技術と養生技術が得られた。これにより、芝草の播種が秋から春の間で自由に実施できることから、これまで播種時期に拘束されていた施工工期の短縮が実現できることとなった。

目 次

- I. はじめに
- II. 土壌環境コントロールシステムの概要
- III. 実証試験方法
- IV. 試験結果
- V. おわりに

I. はじめに

2002年サッカー・ワールドカップ日韓共催を控え、日韓両国の各開催都市で準備が進んでおり、現在、日本国内でも8カ所の競技場の新設・リニューアル工事が行われている。当社でも埼玉スタジアム2002を含めて全国4カ所の競技場新築工事を施工中である。埼玉スタジアム2002では、2001年の6月にプレ・ワールドカップが予定されており、工程上、芝草の冬期播種が避けられない状況にある。芝草の発芽と生育に厳しい冬期播種の条件下では従来の技術での芝生形成が困難であったが、当社で開発した土壌環境コントロールシステム¹⁾を適用することで、冬期においても芝草の播種が十分可能であると考えて実証試験を行った。本報では、当社技術研究所緑化試験場において1998年11月から2000年6月までの2冬期（第一回実証試験：1998年11月～1999年6月、第二回実証試験：2000年1月～6月）にわたる芝草の冬期発芽・生育試験などの結果を報告するのである。

II. 土壌環境コントロールシステムの概要

本システムは、地中15cmに埋設した樹脂モールド型白金薄膜温度センサー（帝人エンジニアリング製）と当社が（株）藤原製作所と共同で開発した埋設型セラミック式土壌水分センサー（藤原製作所製）を用いて地温と土壌水分のそれぞれを測定し、それらのデータを基に地温と土壌水分の二つの環境を同時に1台のパソコンで最適条件に制御するものである。地温の制御方式は、チラーポンプで一定温度に保たれた冷・温水を地中25cmに埋設したパイプに循環させることによって制御するパイピング方式と地中25cmに埋設した電気ヒー

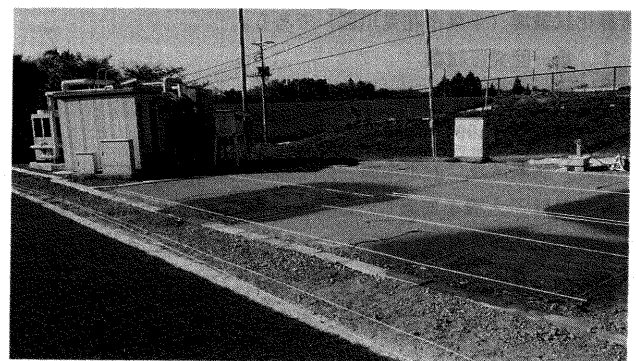


Photo 1 土壌環境コントロールシステム全景
(Panorama of Soil Environment Control System)

1) 土木技術本部緑化技術室
2) 知的財産部

キーワード：土壌環境コントロールシステム、芝草、
冬期播種、スポーツターフ、地温、グラウンド、
サッカー

ター線により土壌を温めるだけのヒーター線方式を採用した。地温の制御は、利用目的に応じて前記二方式のどちらかを適宜選択できる。土壌水分は、設定値により散水装置が自動的に作動し、必要な土壌水分を常に確保できるようになっている。なお、第一回実証試験および第二回実証試験とも、播種後芝草の種子が発芽するまで乾燥しないよう養生管理する必要があるので手動により適宜灌水を行った。

Table 1 システム仕様
(Specifications of Soil Environment Control System)

名 称	仕 様	数 量
空冷ヒートポンプ	冷却能力：10,000 Kcal/h 加熱能力：12,000 Kcal/h	2
熱源ポンプ	40 l/min×9.5 m	2
冷温水タンク	1.5 m ³	2
循環ポンプ	160 l/min×9.5 m	2
制御バルブ	横型3方弁 40A	4
ネットヒーター	L×B：5,000×1,600 消費電力：750 W 発熱線表面温度：30℃	6
制御対象面積	ハ°化°ソグ方式：200.0m ² ヒーター線方式：36.6m ²	
その他	ハ°化°ソグ方式：4ブロックに分割 制御が可能 ヒーター線方式：2ブロックに分割 制御が可能	

Ⅲ. 実証試験方法

第一回実証試験では、本システムを利用することによる芝草種子の発芽・生育の評価・確認を主に行い、第二回実証試験においては、芝草種子の発芽・生育の再現性確認に加え、スポーツターフとしての形成時期及びターフ品質などについて検討した。

試験場所は、第一回実証試験、第二回実証試験とも鹿島技術研究所緑化試験場（千葉市花見川区）である。

1. 第一回実証試験

(1) 試験期間

1998年11月～1999年 6月

(2) 試験区及び設定地温

試験区は、土壌を加温した20℃区（22.2m²）、25℃区（14.4m²）及び無加温の対照区（25.8m²）の3試験区とした。各試験区内は6ブロックに等分割し、播種月毎に1ブロックずつ使用した。いずれの土壌も木更津産山砂（30cm厚）を使用した。また、地温制御方式はヒーター線方式とした。

20℃区と25℃区では、地表面下15cmの地温がそれぞれ20℃、25℃になるように制御した。すなわち設定地温より1℃低下するとヒーター線に通電して土壌を加温させ、1℃上昇すると通電を停止した。また、対照区は自然状態（地温無制御）とした。

(3) 供試芝草

寒地型芝草5品種を全試験区に混合播種した。芝草の種類と播種量・種子数はTable 2のとおりである。なお、本施工では、ケンタ

ッキーブルーグラス「インディゴ」を使用する予定であるが、本試験開始時に入手困難であったため、同等品のケンタッキーブルーグラス「エクスプローラー」で代用した。

Table 2 供試芝草の種類及び播種量・種子数
(Quantity, Weight and Kind of Grass Seed)

草 種 名	品 種 名	播 種 量 (g/m ²)	種 子 数 (粒/m ²)
トルフェスク	MIC18	20.0	13,000
ケンタッキーブルーグラス	アメリカ	5.0	17,500
	イクスプローラー	5.0	17,500
	アルパイン	5.0	17,500
ペレニアライグラス	カッター	10.0	6,500
合 計		45.0	72,000

(4) 播種方法

播種は、1998年11月から1999年4月までの6ヵ月間、毎月1回（播種日は20日前後）、3試験区の各ブロックに手蒔き方式（ドロップ式）で播種し、透明タイプの養生シートで播種後約1～2ヵ月間、養生した。芝種子の育成管理は、全試験区同一にした。

2. 第二回実証試験

(1) 試験期間

2000年 1月～ 6月

(2) 試験区及び設定地温

試験区は、土壌を加温した20℃区（24.0m²）と無加温の対照区（24.0m²）の2試験区とした。いずれの土壌も木更津産山砂（30cm厚）を使用した。また、地温制御方式はパイピング方式とした。

地温の制御方法は、設定地温より1℃低下すると温水を循環して土壌を加温させ、1℃上昇すると循環を停止する。地温の管理深さは、地表面下15cmである。

(3) 供試芝草

供試芝草は、第一回実証試験と同一である（Table 2 参照）。

(4) 播種方法

播種は、2000年 1月、2試験区に手蒔き方式（ドロップ式）で播種し、透明タイプの養生シートで播種後約1～2ヵ月間、養生した。芝種子の育成管理は、全試験区とも第一回実証試験と同一にした。

3. 測定調査項目

第一回実証試験においては、各試験区における芝草の発芽・生育を確認するため、以下の二項目（土壌温度と芝草被覆）について測定した。第二回実証試験においては、これに加えスポーツターフとしての形成時期及びターフ品質を評価・確認するため、以下の全項目を測定した。

(1) 土壌温度の測定

各試験区の地表面、地表面下5cm及び15cmの深さで地温を経時的に測定した。

地表面と地表面下5cmの地温は、熱電対を用いて1時間毎に計測し、データロガーに記録した。地表面下15cmの地温は、樹脂モールド型白金薄膜温度センサーを用いて30分毎に計測し、土壤環境コントロールシステムの制御パソコンに記録した。

(2) 芝草被覆の測定

播種後毎週1回、芝草被覆の測定を行った。被覆は澤田ら(1995)の方法²⁾に準じてリバーサルフィルムに撮影後、画像解析し、芝による被覆部分と裸地部分の割合で示した。

(3) ターフ品質測定

スポーツターフとしてのプレーイングクオリティについては、20℃区で芝草の地表面被覆が完了後(播種後2ヵ月)、毎月1回、Table 3の調査項目³⁾について測定した。なお、測定は芝刈り機で25mm高に刈取り後、実施した。

Table 3 プレーイングクオリティ調査項目
(Investigation Item of Playing Quality)

項 目	内 容
ボールリバウンド	3mの高さからボールを落とし、弾みを計測
トラクション	スパイクの付いた円盤に加重をかけ、トルクを計測
インパクトソイルテスター	0.5kgの錘を高さ30cmから落下させてCIVを計測
接地表面硬度	山中式土壌硬度計により土壌表面硬度を計測

(4) 芝草生育量の測定

20℃区で芝草の地表面被覆が完了後(播種後2ヵ月)、毎月1回、芝草のサンプリングを実施した。芝草のサンプリングは、芝刈り機

で25mm高に刈取り、1週間放置後にホールカッター(φ10.5cm)にて地上部及び地下部とも採取した。採取した芝草は、地上部と地下部分に分け、乾燥重量を測定した。

(5) 全炭素・全窒素の測定

採取した芝草に含まれる全炭素・全窒素量について分析した。なお、分析方法は乾式燃焼法で行った。

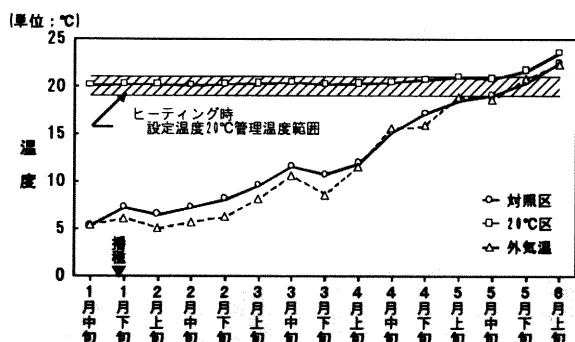
IV. 試験結果

第一回実証試験で加温区(20℃区、25℃区)と対照区について実証試験を行ったが、20℃区と25℃区では地表面下15cm、地表面の土壌温度及び芝草の被覆結果に大きな差異がなかったので20℃区と対照区について試験結果を報告する。なお、ここでは最も条件の厳しい1月播種について述べる

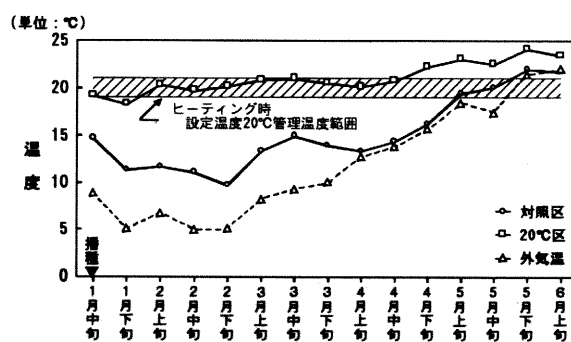
1. 土壌温度の制御記録

(1) 地表面下15cmの土壌温度

第一回及び第二回実証試験の1月播種区における冬期(1月上旬～6月上旬)の20℃区の地表面下15cmの地温の測定結果をFig.1に示す。外気温の影響を受ける対照区の地温は、外気温に連動しているが、20℃に温度管理した区では5月中旬まで管理温度範囲に地温が維持されている。5月下旬以降、地温が管理温度範囲を超えるが、これは本実証試験が冬期播種を目的とした土壌加温のみの制御



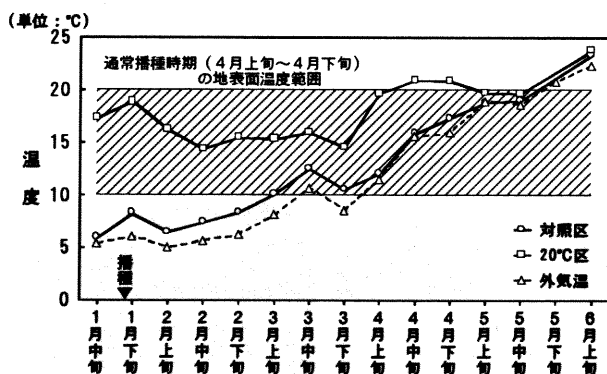
第一回実証試験



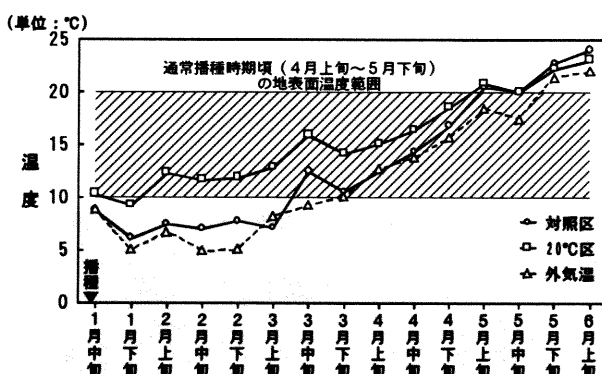
第二回実証試験

Fig.1 地表面下15cm温度の経時変化(1月播種区)

(Change in Soil Temperature of underground 15 cm : In January, Sowing District)



第一回実証試験



第二回実証試験

Fig.2 地表面温度の経時変化(1月播種区)

(Change in Soil Temperature on Surface : In January, Sowing District)

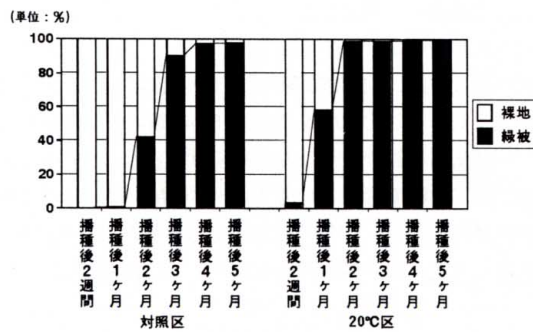
を行ったことによる。Fig.1 から土壌温度は管理地温に適切にコントロールされていることが確認できた。25℃区及び1月播種区以外の各区でもほぼ同様の結果が得られた。

(2) 地表面の土壌温度

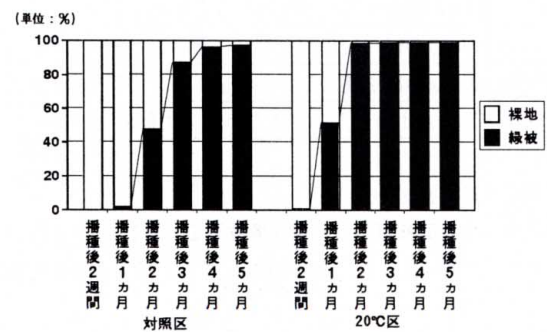
第一回及び第二回実証試験の1月播種区における冬期(1月上旬～6月上旬)の20℃区での地表面土壌温度の測定結果を Fig.2 に示す。1月上旬から3月下旬までの20℃区の地表面温度は、通常芝草の種子を播種する時期である4月から5月頃の温度範囲に適切に維持されていることが確認できる。25℃区及び1月播種区以外の各区でもほぼ同様の結果が得られた。

2. 芝草の被覆

芝草の被覆は、第一回及び第二回実証試験とも同様な結果を得た。すなわち、20℃区では播種後2週間で発芽を確認できたが、対照区では播種後1ヵ月で僅かに発芽を確認できた程度であった。次に、芝草の被覆率を Fig.3 に示す。20℃区では、播種後1ヵ月で地表面が約50%から60%程度まで被覆されたが対照区では、僅かに数%程度の被覆率であった(Photo 2, Photo 3 参照)。20℃区では、播種後2ヵ月で地表面の被覆が完了したのに対し、対照区では地表面が約40%から50%程度被覆されただけであった(Photo 4, Photo 5 参照)。対照区の被覆が完了するには播種後4ヵ月以上必要であった。



第一回実証試験

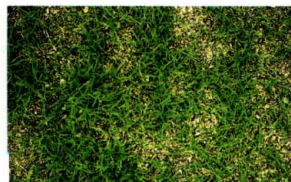


第二回実証試験

Fig.3 芝草の被覆率 (1月播種区)
(Covering Rate of Grass : In January, Sowing District)



対照区

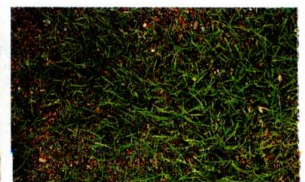


20℃区

Photo 2 第一回実証試験・播種後1ヵ月の状況(1月播種区)
(First Examination・After Sowing, One-Month Conditions
: In January, Sowing District)

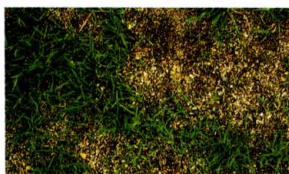


対照区



20℃区

Photo 3 第二回実証試験・播種後1ヵ月の状況(1月播種区)
(Second Examination・After Sowing, One-Month Conditions
: In January, Sowing District)

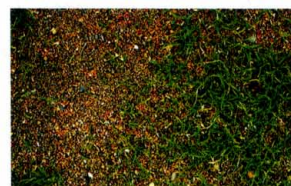


対照区



20℃区

Photo 4 第一回実証試験・播種後2ヵ月の状況(1月播種区)
(First Examination・After Sowing, Two-Month Conditions
: In January, Sowing District)



対照区



20℃区

Photo 5 第二回実証試験・播種後2ヵ月の状況(1月播種区)
(Second Examination・After Sowing, Two-Month Conditions
: In January, Sowing District)

3. ターフ品質

スポーツターフとしては芝草が地表面を被覆しただけでは、サッカーなどに必要なプレーイングクオリティを達成できない。20℃区で地表面が芝草で被覆完了した後、競技に必要な品質調査を行った。その測定結果を Fig.4 と Fig.5 に示す。なお、Fig.4 と Fig.5 中の実測範囲とは、当社が1996年からJリーグ公式試合グラウンドなど(計5カ所)を30回以上調査した実測範囲である。播種後2ヵ月で20℃区は、各々の調査項目が実測範囲内にあるが、ボールリバウンドは、最低限のプレーイングクオリティを確保できる程度であった。それに対して対照区では、選手のプレー性に影響のあるトラクションやボールリバウンドなどでプレーイングクオリティを確保できなかった。なお、最も最適なプレーイングクオリティが確保できたのは、20℃区で播種後3ヵ月以降であり、対照区については播種後5ヵ月以降であった。この結果より、冬期の土壌加温は地表面を被覆するだけでなくスポーツターフの早期実現に寄与することが確認できた。

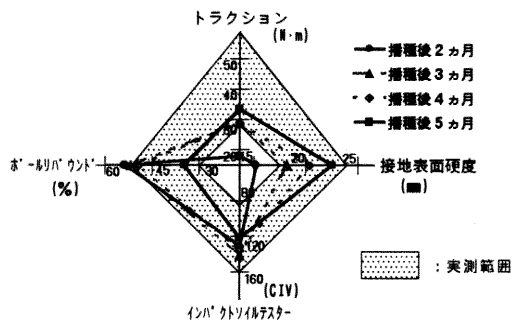


Fig.4 対照区のプレーイングクオリティ
 (Playing Quality of Contrast District)

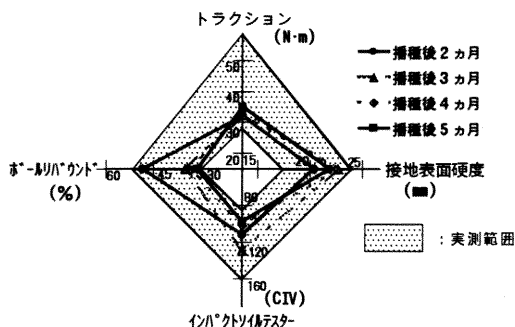


Fig.5 20℃区のプレーイングクオリティ
 (Playing Quality of Soil Temperature 20℃ District)

4. 芝草の生育量

芝草の播種後2ヵ月から5ヵ月までの生育量を Fig.6 及び Table 4 に示す。対照区の地上部乾物重は、20℃区の地上部乾物重に対して、播種後2ヵ月で約40%程度であり、この時の地表面被覆率は、対照区で約47%程度であったことから地上部乾物重は、ほぼ被覆率に連動していた。しかしながら播種後3ヵ月から4ヵ月で対照区地表面の被覆率は、約85%から95%と高いものであったのに対し、地上部

乾物重は、20℃区に比べて約46%から75%程度しかなかった。このことから対照区では、地表面の被覆率がかなり達成できても地上部乾物重が少ないことから、芝生の密度は低く十分なターフが形成されていない状況であることがわかった。これに対して20℃区は、播種後3ヵ月で被覆率も高く、地上部乾物重も多いことから十分なターフが形成されていることがわかる。このことは、プレーイングクオリティにも顕著に現れており、最も最適なプレーイングクオリティの確保時期と一致した (Fig.5 参照)。なお、対照区の地上部乾物重が、20℃区の地上部乾物重と同等量になるのは地表面の被覆がほぼ完了し、最も最適なプレーイングクオリティが確保できた播種後5ヵ月目であった。

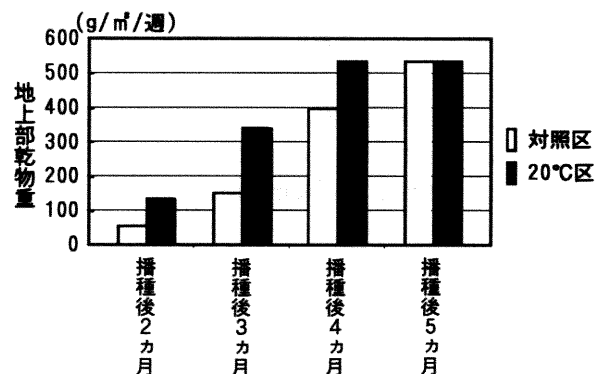


Fig.6 地温制御が生育に及ぼす影響
 (Influence of Soil Temperature Control on Dried Matter Production)

Table 4 芝草の地上部生育量と全炭素・全窒素

(Total Carbon · Total Nitrogen and Dried Matter Production)

		乾物重 (g/m²/週)	濃度 (%)		C/N 比	吸収量 (g/m²/週)	
			C	N		C	N
20℃区	播種後2ヵ月	134.15	38.30	3.37	11.36	51.38	4.52
	播種後3ヵ月	337.62	38.92	2.34	16.63	131.40	7.90
	播種後4ヵ月	534.28	39.24	1.87	20.98	209.65	9.99
	播種後5ヵ月	534.51	40.55	2.01	20.17	216.76	10.75
対照区	播種後2ヵ月	55.35	40.43	4.63	8.73	22.38	2.56
	播種後3ヵ月	154.83	40.32	2.91	13.86	62.43	4.51
	播種後4ヵ月	398.63	43.02	2.11	20.39	171.43	8.41
	播種後5ヵ月	534.74	39.69	1.82	21.79	212.26	9.74

5. 芝草の全炭素・全窒素と吸収量

芝草が生育するためには、葉の生育を助ける窒素吸収が必要である。20℃区と対照区の播種後2ヵ月から5ヵ月までの全炭素・全窒素、C/N比と炭素および窒素吸収量を Table 4 に示す。同時期の採取サンプルで20℃区と対照区では、全炭素濃度で2.0%から4.0%程度の差があり、全窒素濃度で0.3%から1.3%程度の差があった。しかしながら芝草が、実際に吸収した炭素と窒素の吸収量は、対照区に比べて20℃区の方が炭素吸収量が約1.2倍から2.1倍程度、窒素吸収量が約1.2倍から1.8倍程度大きい。このことから20℃区と対照区では、芝草の炭素と窒素の含有濃度に極端な違いはないことから養分吸収速度はほぼ同等であることが分かる。また、採取した芝草

の地上部生育量が20℃区の方で多いことから、炭素と窒素の吸収量が対照区に比べ大きいことも分かった。これは最適な土壌環境で芝草を生育することで、芝草の生育が著しく促進されたためと考えられる。

V. おわりに

第一回実証試験と第二回実証試験から、土壌環境コントロールシステムを利用した芝草の冬期播種における種子の発芽および芝生の形成などについて、以下のことが明らかになった。

- a. 1月播種の加温区(20℃, 25℃区)と同対照区では、発芽が約1ヵ月、ターフ形成が2ヵ月以上の差があった。
- b. 11月, 12月及び2月播種の加温区(20℃, 25℃区)と同対照区は、発芽が2週間、ターフ形成が1ヵ月程度差があった。
- c. 3月, 4月播種では、発芽及びターフ形成で加温区(20℃, 25℃区)と対照区にほとんど差が認められなかった。
- d. 20℃区と25℃区の両加温区については、地表面温度差が2℃程度しかなかったことから、発芽及び生育に大差なかった。
- e. 20℃区では、播種後2ヵ月程度で必要最低限のプレーイングクオリティを、そして播種後3ヵ月で最適なプレーイングクオリティを実現できた。
- f. 今回検討したように、良好な土壌環境で種子を養生管理すれば、厳冬期であっても2, 3ヵ月程度で芝生が形成され、スポーツターフとして必要な性能を実現できた。

これらの結果より、これまで春または秋に制約されていた芝草の播種時期が、本システムの適用により、秋から春の期間で、自由に実施できることが実証された。今後は、年間を通じて自由に播種作

業が実施できるかどうか、本システムのクーリング機能を利用した夏期播種について検討していく。

参考文献

- 1) 柳, 瀬戸, 通山; 天然芝土壌環境コントロールシステムの開発, 鹿島技術研究所年報, Vol.46, (1998), pp.189~194.
- 2) 澤田, 速水, 竹内, 関, 山田; ゴルフ場芝草の合理的管理技術(第8報), 日本芝草学会平成7年度春季大会講演要旨集, (1995), pp.108~109.
- 3) 中原久和, 柳久; サッカー場の芝生造成と管理, ソフトサイエンス社, (1994).
- 4) 江原薫; 芝草と芝地, 養賢堂, (1987).
- 5) 日本芝草学会; 芝生と緑化, ソフトサイエンス社, (1988).
- 6) 山内, 澤田, 速水, 竹内, 関; ゴルフ場芝草の合理的管理技術の検討(その1), 鹿島技術研究所年報, Vol.41, (1993), pp.323~326.
- 7) 速水, 澤田, 山内, 竹内, 関; ゴルフ場芝草の合理的管理技術の検討(その2), 鹿島技術研究所年報, Vol.41, (1993), pp.327~330.
- 8) 瀬戸, 柳, 通山, 竹内, 速水; 高品質スポーツターフの造成技術(第1報), 芝草研究大会誌, Vol.26, (1997), pp.136~137.
- 9) 瀬戸, 柳, 通山, 竹内; 高品質スポーツターフの造成技術(第2報), 芝草研究大会誌, Vol.27, (1998), pp.60~61.
- 10) 通山, 瀬戸, 柳; 土壌環境コントロールシステムを利用した芝草の冬期発芽試験, 第27回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, (2000), pp.1032~1033.