

天然芝土壤環境コントロールシステムの開発

Development of Soil Environment Control System for Maintaining Sports Turf

柳 雅 之
瀬 戸 眞¹⁾
通 山 忠 治

要 約

Jリーグの発足や2002年ワールドカップ日韓共催などを受けて、スポーツの激しい使用にさらされる天然芝グラウンドを良好に維持管理する必要性が急速に高まっている。そこで当社は、年間を通じて土壤環境を芝草にとって好適な条件に制御する天然芝土壤環境コントロールシステムを開発し、技術研究所緑化試験場（千葉市）において実証試験を1996年5月～1998年4月の2年間実施した。ここでは、本システムの効果を判定するために土壤環境制御が芝草の緑葉率、生長量並びに養分吸収に及ぼす影響について検討した。試験区は夏期と冬期に地温を4段階に設定し、システムを稼働させた。この結果、本システムは年間を通じて地温および土壤水分を芝草の生育に適した範囲に保てることを確認でき、必要な運転データも得られた。また、厳冬期でも緑色を保つことができエバグリーン化を実現した。

土壤温度の制御は、芝草の生長量を酷暑期は抑え厳冬期は増大させ、季節に関わりなく良好な状態を維持した。養分吸収の面から見ると、冬期のヒーティングによりN吸収量が増大した。これらより、土壤環境コントロールはピッチ管理に有効な手法であることが明らかにされた。

目 次

- I. はじめに
- II. 天然芝土壤環境コントロールシステム
- III. 実証試験方法
- IV. 試験結果
- V. おわりに

I. はじめに

Jリーグの隆盛や2002年ワールドカップ日韓共催を控え、全国各地で競技場の新設やリニューアルが予定されており、天然芝グラウンド（以下ピッチとする）の品質向上が求められている。ピッチはスポーツの激しい使用にさらされており、年間を通じて良好な状態に維持するためには地温と土壤水分の土壤環境を適切な状態に保つことが重要である。当社では速水ら（1993）^{3) 4)}が、日本の気象条件下では芝草本来の温度適応性からみて酷暑期や厳冬期の維持管理が極めて難しいゴルフ場グリーンを対象に、土壌を夏期に冷却、冬期に加熱し、地温調節が芝草の生育に対して効果があることを示した。そこで速水らの地温制御システムを全面的に改良し、さらに土壤水分制御機能を付加した天然芝土壤環境コントロールシステムを開発した。本報では、本システムの実証試験として当社技術研究所緑化試験場において1996年5月から1998年4月までの2年間にわたり、本システムの性能、および国内のピッチで使用されている主な3タイプの芝草を用いた生育試験などの結果を報告するものである。

II. 天然芝土壤環境コントロールシステム

1. システムの概要

本システムは、地温と土壤水分について地中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）と鹿島が（株）藤原製作所が共同で開発した埋設型セラミック式土壤水分センサー（藤原製作所製）を用いて測定し、そのデータを基に地温と土壤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。地温は、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。土壤水分は、設定値より乾燥したら散水装置が自動的に作動し、必要な土壤水分を常に確保する。

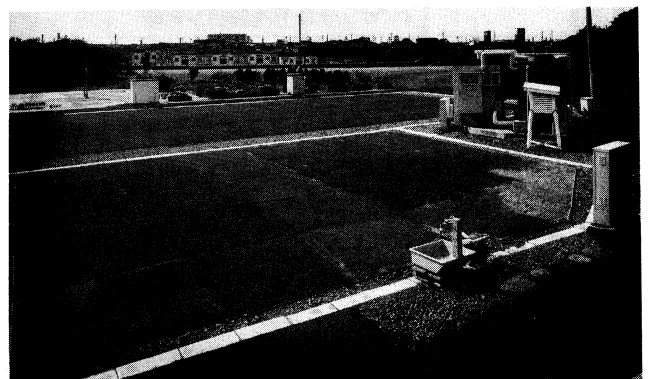


Photo 1 天然芝土壤環境コントロールシステム全景
(Panorama of Soil Environment Control System)

1) 土木技術本部緑化技術室

キーワード：サッカー、グラウンド、ピッチ、芝、
地温、土壤水分、土壤水分センサー、
土壤環境コントロールシステム

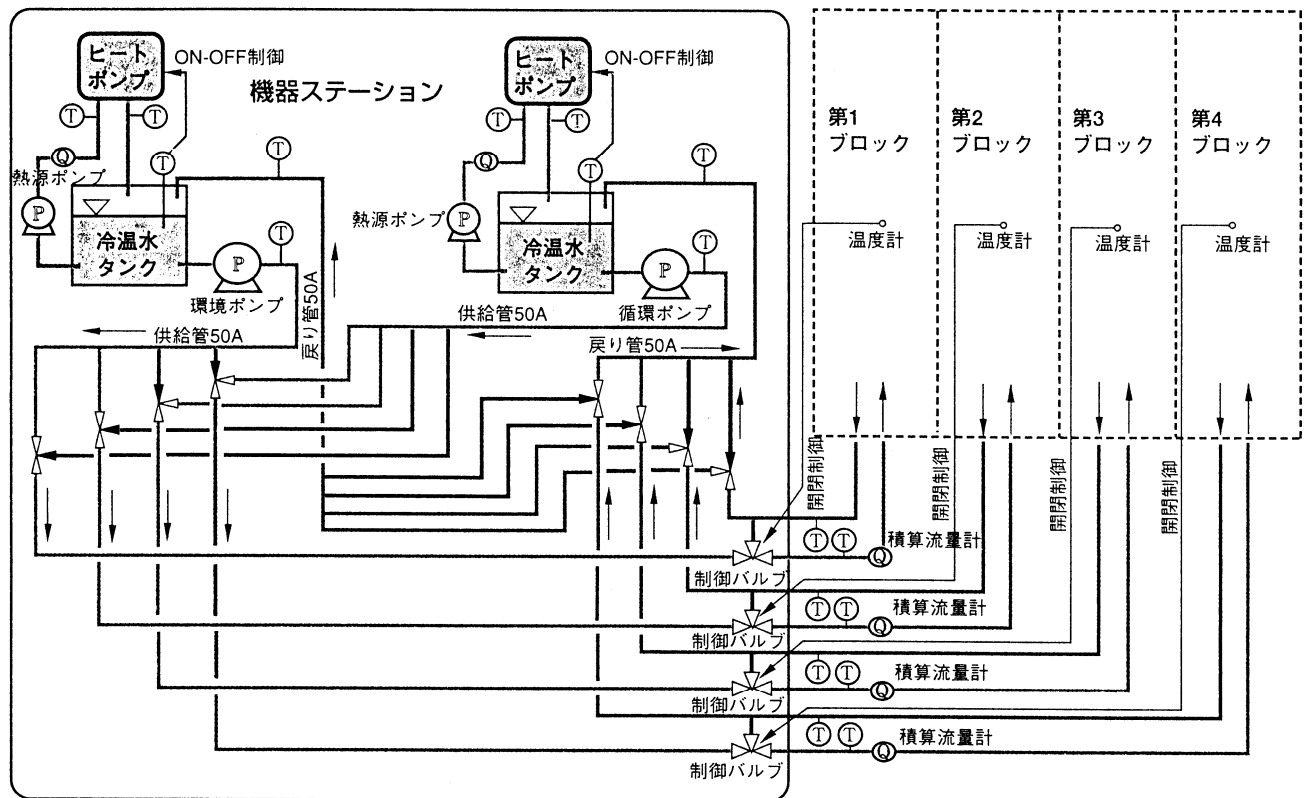


Fig. 1 土壌環境コントロールシステム
(Soil Environment Control System)

Table 1 システムの仕様

(Specifications of Soil Environment Control System)

名 称	仕 様	数 量
空冷ヒートポンプ	冷却能力 10,000Kcal/h 加熱能力 12,000Kcal/h	2
熱源ポンプ	40l/min×9.5m	2
冷温水タンク	1.5m ³	2
循環ポンプ	160l/min×26m	2
制御バルブ	横型3方弁 40A	4
制御対象面積	200m ²	
その他	4ブロックに分割制御が可能	

2. 埋設型セラミックス土壌水分センサー

芝草の生育管理を行うにはpF値で土壌水分を計測する必要がある。しかし、市販されているポーラスカップ式のpF値測定用土壌水分センサーは1～2回／月程度の蒸留水の補給が必要でピッチに埋設することは無理であった。

本センサーの外観はPhoto 2に示すとおりである。大きさは外寸で直径50mm、高さ70mm程度である。pF1.5～2.7の感度の異なる7本の1点式pFセンサーを連結して、電気信号の処理により連続計測が行えるようにした。

埋設型土壌水分センサー開発課題として、埋設するため日常管理が行えないのでメンテナンスフリーにすること、土壌水分の制御に使用するため感応速度を高めることが上げられる。

本センサーの特徴は、特殊なセラミックスの土壌水分フィルター

を使用していることにある。本フィルターの採用で蒸留水の補給が不要になり、日常管理がメンテナンスフリーとなった。したがって、温度センサーと同じ管理頻度で良く、年1～2回程度のピッチの更新作業時に点検や交換作業を行えば良い。

また、1点式センサーを連結させることでセラミックス土壌水分フィルターの寸法をできるかぎり小型化し、センサーの形状を土壌水分に感応し易くすることで、制御に必要な精度と感応速度を実現することができた。感応速度が従来のポーラスカップ式センサーと比較して速いため、灌水管理を行う場合、乾燥側だけでなく湿潤側の制御も行え、より精密な水分管理が可能になった。

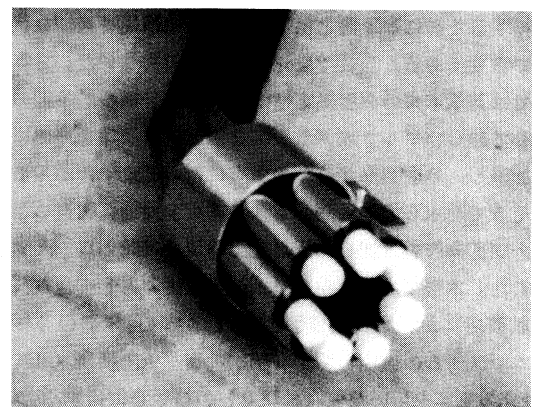


Photo 2 埋設型セラミックス式土壌水分センサー
(Bury Type of Soil Moisture Ceramic Sensor)

3. 制御用ソフトウェア

地温と土壤水分を同時に計測、制御するため、新たな制御用ソフトウェアを開発した。本システムの利用者として想定されるグラウンドキーパーがパソコンに不慣れな場合でも容易に操作できるように対話形式にして操作性を高めた。また、通常は自動運転を行うが、ピッチの管理作業や病虫害の発生時などの非日常管理においては、グラウンドキーパー各自が経験に基づいた独特のピッチ管理手法を持っているので、手動操作の自由度を高めて経験を活用し易くするなどの配慮もした。

本ソフトウェアは、パソコン上で稼働し、RS-232Cインターフェイスにより、制御装置とデータ通信を行う。パソコンのOSは、Windows95とした。パソコン側ハードウェアは、PC/AT互換機、メモリ16MB以上、HDD1.2G、VGAまたはそれ以上の解像度に対応したCRTなどが必要である。

本ソフトウェアの基本機能は、以下の4点である。

- ピッチの地温、土壤水分の状態を定期的にモニターし、結果を表示する。
- 制御ルールに基づいて、地温、土壤水分が適切になるように制御装置をコントロールする。
- 定期的にモニターした観測データをパソコンの補助記録装置にファイルとして保存する。
- 制御装置へのコントロール記録をロギングし、パソコンの補助記録装置にファイルとして保存する。

4. 必要熱量の算定

本システムを設計するための温度条件として、設置場所が緑化試験場（千葉市）のため、冬期の平均外気温5℃、循環用温水30℃、夏期の平均外気温27℃、循環用冷水10℃とした。この場合、冬期の方が平均外気温と循環用水の温度差が大きく条件が厳しいので、冬期の必要熱量で本システムの性能が決まることとなった。

計算用の熱物性値として、芝草、砂（土壌）、ポリエチレン管（循環用配管）、砂利（排水層）、黒土（地盤）各々の熱伝導率を設定した。計算にはFEM熱解析プログラムを使用した。

配管の敷設間隔、深さなどの条件を変更しながら計算を繰り返した結果、安全率を考慮した本システムの必要熱量は約20,000Kcal/hとなった。

III. 実証試験方法

1. 試験場所

鹿島技術研究所緑化試験場（千葉市花見川区）

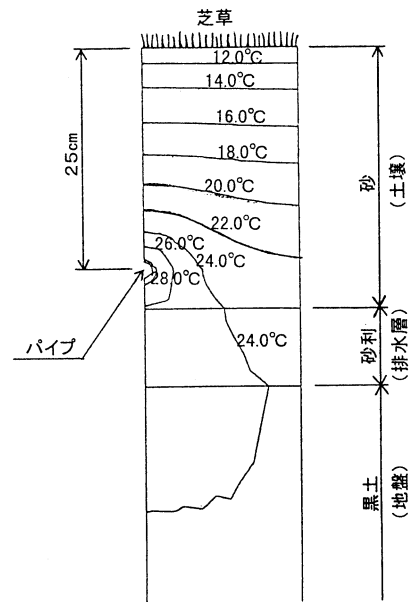
2. 試験区

試験区は、調節区（50㎡×4）と対照区（13.5㎡）とし、いずれの土壌も木更津産山砂（30cm厚）を使用した。

調節区には天然芝土壌環境コントロールシステムを設置し、対照区には同システムのうち、土壤水分制御機能だけを備えた。

設定地温はクーリング期間（1997年7月25日～10月3日）が20, 23, 25, 28℃、ヒータリング期間（1997年11月10日～1998年4月31日）が10, 15, 20, 25℃であり、対照区はいずれの期間も地温無調節であった。全試験区の土壤水分制御値はクーリング期間がpF2.0、ヒータリング期間がpF2.1とした。

地温の制御方法は、クーリング時は管理地温より1℃上昇すると



循環用温水: 30℃

配管径: 20A

配管材: ポリエチレンパイプ

Fig. 2 FEM熱解析の例

(Example of FEM Heat Analysis)

冷水を循環させ、1℃低下すると循環を停止する。ヒータリング時はこの反対の制御を行った。地温の管理深さは、芝草の根の生育が活発な15cmとした。

土壤水分の制御方法は、土壌が乾燥し灌水が必要となる管理pF値を設定し、スプリンクラーで自動灌水を行った。土壤水分の管理深さは、芝草の根の生育が活発な15cmとした。

3. 供試芝草

全試験区に寒地型芝草2タイプと暖地型芝草1タイプを供試した。寒地型芝草はトールフェスク主体の4種混合（以下Aタイプとする）とケンタッキーブルーグラス主体の5種混合（以下Bタイプとする）であり、いずれも播種は1996年5月に、オーバーシードは1997年6、10月に実施した。暖地型芝草はティフトン419（以下Cタイプとする）であり、1996年5月に張り芝とした。芝草の育成管理は全試験区同一であった。

4. 土壌温度の測定

15cmの深さに設置した樹脂モールド型白金薄膜温度センサーで地温を経時的に測定した。

5. 土壌水分の測定

15cmの深さに設置した埋設型セラミック製土壌水分センサーで土壌水分を経時的に測定した。

6. 芝草葉色の測定

毎月1回、葉色の測定を行った。葉色は澤田ら（1995）⁵⁾の方法に準じてリバーサルフィルムに撮影後、画像解析し、緑葉と枯葉の割合で示した。

7. 芝草生長量の測定

毎月1回、芝草の地上部刈取りと葉色のサンプリングを実施した。地上部刈取りは各試験区内の0.09㎡で行い、刈取高は寒地型芝草が20mm、暖地型芝草が3mmとした。刈り取った芝草は105℃で24時間乾

燥して重量を測定した。

8. 養分含有率の測定

(1) 分析項目

刈り取られた芝草の養分分析率を主要7成分(N, P, K, Ca, Mg, Fe, Si)について分析した。

(2) 分析方法

N: ガンニング氏変法

P: 硝酸・過塩素酸分解-バナドモリブデン酸法

K: 硝酸・過塩素酸分解-フレーム炎光度法

Ca: 硝酸・過塩素酸分解-原子吸光度法

Mg: 硝酸・過塩素酸分解-原子吸光度法

Fe: 硝酸・過塩素酸分解-原子吸光度法

Si: ケイ素重量法

9. 消費電力量の測定

本システムを稼働させた間の消費電力量を電力積算計で測定し、毎週1回記録した。

IV. 計測結果

1. 地温の制御記録

酷暑期(1997年8月19日～26日)および厳寒期(1998年2月12日～19日)の管理温度20℃区の測定結果をFig. 3に示す。調節区の地温は、外気温の影響を受け地温が外気温にほぼ連動する対照区と比較して温度管理した区は芝草の生育に適切な地温を維持されることが確認された。クーリング時の管理地温23, 25, 28℃, ヒーティング時の管理地温10, 15, 25℃でも同様の結果が得られた。

2. 土壌水分の制御記録

酷暑期(1997年8月19日～26日)および厳寒期(1998年2月12日～19日)の管理温度20℃区の測定結果をFig. 4に示す。土壌を乾燥させずに芝草の生育に適切な土壌水分が維持されることが確認された。クーリング時の管理地温23, 25, 28℃, ヒーティング時の管理地温10, 15, 25℃の各区でも同様の結果が得られた。

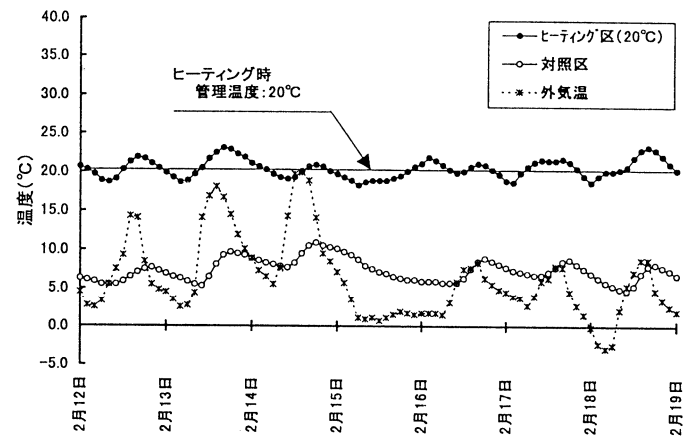
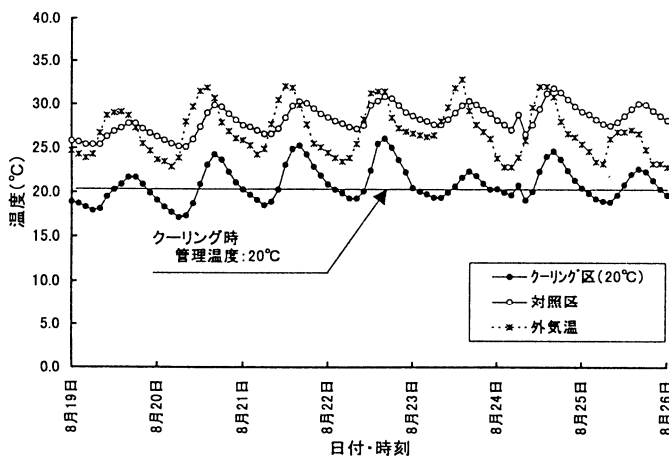


Fig. 3 地温の制御記録
(Record of Soil Temperature Control)

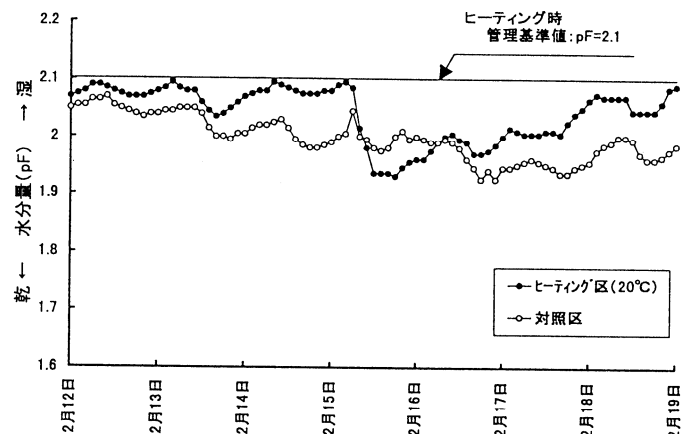
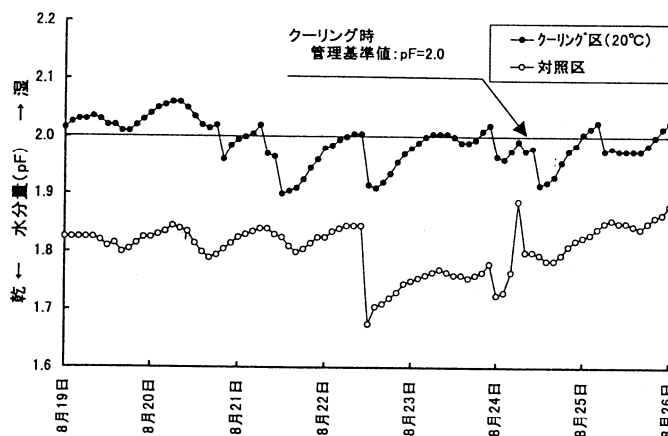


Fig. 4 土壌水分の制御記録
(Record of Soil Moisture Control)

3. 芝草の葉色

冬期は、対照区のAタイプおよびBタイプでは芝草が休眠のため生育が停止し、芝密度の低下とともに枯葉が発生した。Fig. 6に示すように厳冬期の2月には緑葉率がAタイプ、Bタイプとも約60%まで低下したが、ヒーティング区では緑葉率の低下が抑えられ、Photo 3に見られるように美しいピッチが維持された。本システムは厳冬期でも緑色を保つことができエバーグリーン化を実現した。

また、完全に休眠する暖地型芝草のCタイプでも、25℃区では緑葉を一部維持でき、対照区より1ヶ月以上早く全面緑色の美しいピッチに回復した。

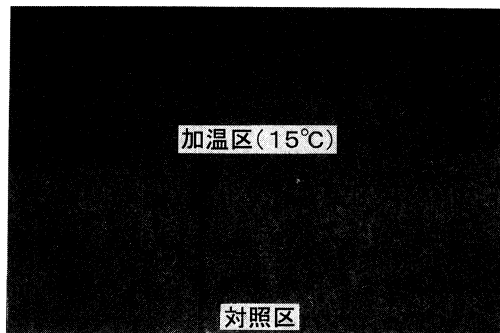


Photo 3 地温制御の効果

(Influence of Soil Temperature Control on Color of Grasses)

4. 芝草の生長量

芝草の生長量は、1997年3月～1998年2月までのAタイプの20℃区と対照区の年間刈り取り乾物量の比較では、373g/㎡/年と399g/㎡/年でほぼ同量であった。しかし、Fig. 7に示す月別の刈取乾物量は、20℃区では各月の生育量は平準化していたが、対照区では月別に大きな違いが生じた。本実証試験では全試験区同一の育成管理を行っており、地温制御を行っている夏期や冬期に刈取乾物量が大きく異なっているため、生長量は地温に大きな影響を受けていると考えられる。これらの結果から、年間を通じて地温を芝草の生育に好適な条件に制御することで、年間を通じて季節に関わりなくピッチを良い状態に維持管理されることを示している。

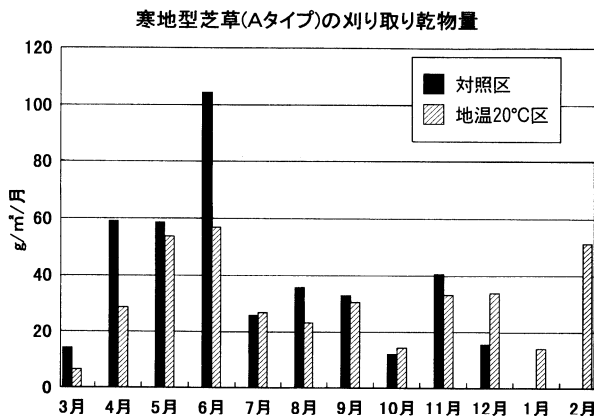


Fig. 6 地温制御が生長量に及ぼす影響

(Influence of Soil Temperature Control on Dry Matter Productin)

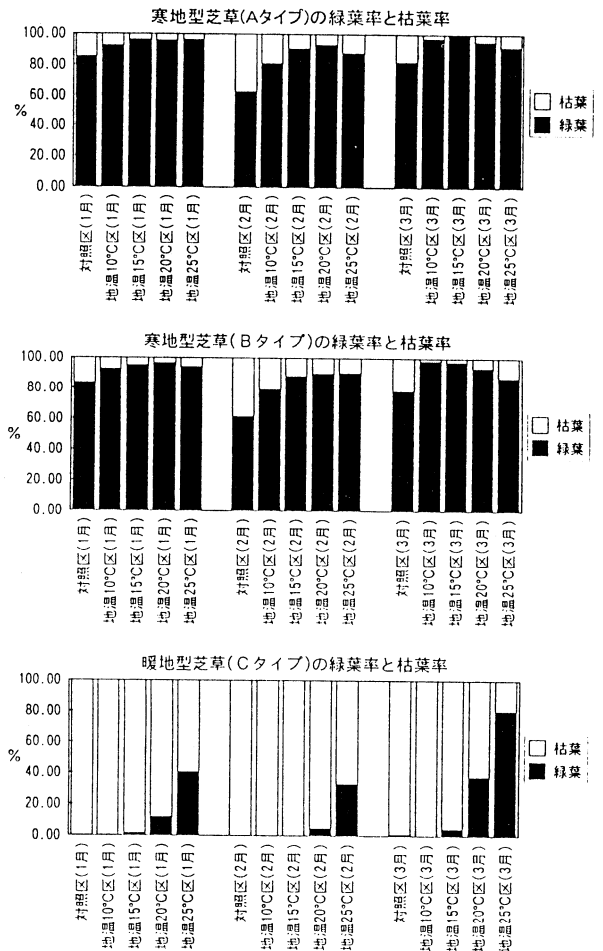


Fig. 5 緑葉率と枯葉率

(The proportin of Alive Leaves to Dead Leaves)

5. 芝草の養分吸収量

冬期にピッチを緑色に保つためには、生育を維持するのに必要なN吸収が必要である。Fig. 8に示すようにBタイプの20℃区は対照区よりNの比率が高く、この結果は緑葉率や生長量の結果と一致する。しかし、一般に各養分のNに対する比率が高くなると生長量は大きくなるが、病害虫に対する抵抗が低くなることが知られている。地温制御を行うと従来の各養分バランスと異なる傾向が生じたので、各養分レベルを一定の適正な範囲内になるような肥培管理を行う必要が生じた。

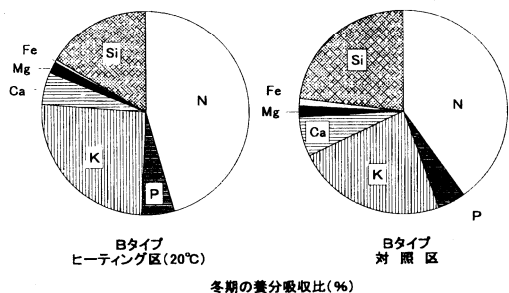


Fig. 7 地温制御が冬期養分吸収に及ぼす影響

(Influence of Soil Temperature Control on Nutrient Uptake Ratio in Winter)

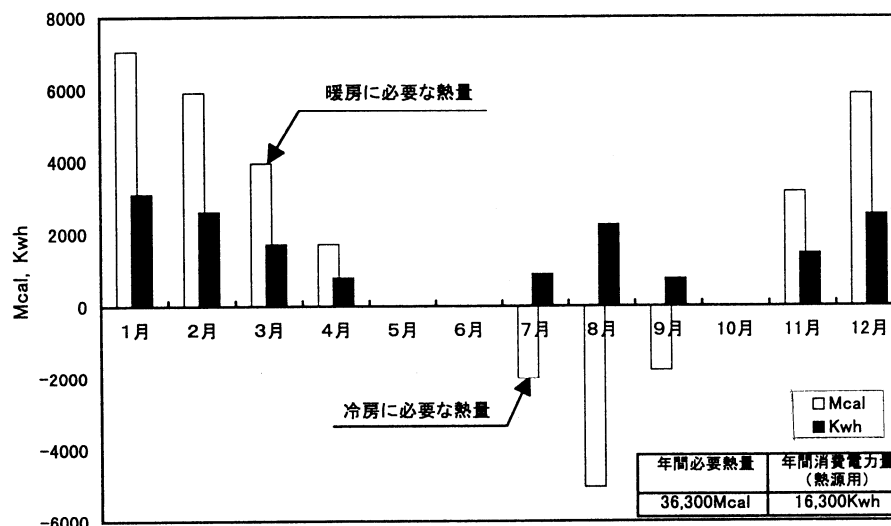


Fig.8 年間消費電力量
(Necessary Quantity of Consumptin Electric Power)

6. システムの消費電力量

1996年11月～1997年10月の月別の消費電力量と必要熱量をFig. 5に示す。5,6および10月は芝草生育に適した気候のため本システムは稼働させていない。

本システムの年間電気代は、1Kwhを11円とすると約180,000円/年であった。ピッチの面積が約8,000㎡の場合には、本システムの面積200㎡の約40倍になるので、単純計算で約7,200,000円/年の電気代がかかることが想定される。ただし、必要熱量を確保できる熱源があれば上記の限りではない。また、本システムの点検、管理費用などは別途必要である。

V. おわりに

今回の実証試験で、天然芝土壤環境コントロールシステムは、設計通りの芝草にとって好適な土壤環境を制御していることが確認でき、このような好適な土壤環境で芝草を維持管理すれば、エバグリーン化など高品質ピッチが実現できる。

しかし、土壤環境コントロールした条件下で芝草を生育させたところ、病害虫の発生相がずれ従来と異なる時期に発生したり、養分の吸収率が変わり新たな肥培管理法が必要になるなどの問題点も明らかになった。今後は、制御した土壤環境における芝草の永続性を

観察し、本システムに適したピッチの維持管理法の確立や地域環境を考慮した適用条件について検討していく。

参考文献

- 1) 江原薫, 芝草と芝地, 養賢堂, (1987).
- 2) 日本芝草学会, 芝生と緑化, ソフトサイエンス社, (1988).
- 3) 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, pp.323～326.
- 4) 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, pp.327～330.
- 5) 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, pp.108～109.
- 6) 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, pp.136～137.
- 7) 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, pp.60～61.