



Title	凍上実験で凍結面前進速度を一定とする制御方法について
Author(s)	福田, 正己; FUKUDA, Masami
Citation	低温科学. 物理篇, 38, 197-200
Issue Date	1980-03-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18407
Type	departmental bulletin paper
File Information	38_p197-200.pdf

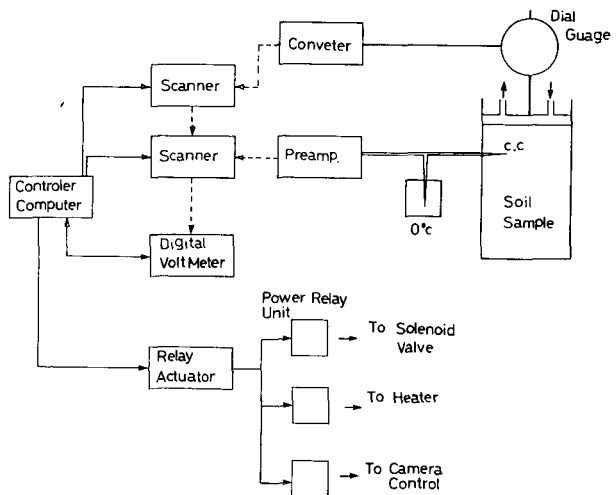


凍上実験で凍結面前進速度を一定とする
制御方法について*

福田 正己
(低温科学研究所)
(昭和54年10月受理)

凍上実験を行なう場合、凍結面の前進速度を一定に制御することは、結果の解析で境界条件などの制限を少なくするという利点がある。高志ら¹⁾は、一連の実験結果に基づいて、凍上率など土の固有定数を知ることから、冷却面の温度降下率を設定することで、凍結進行速度一定となることを示した。凍上過程において、凍結面でのアイスレンズ形成時には、土中の水一熱の流れは結合し合って、定常的なあつかいがむずかしい。従って、冷却面の温度降下率を設定するという方式では、現象の変動に追従しきれない場合も起りうる。そこで、筆者は凍上実験中の土中温度分布を逐次計測し、数値近似によって凍結面を推定する方式を試みた。推定された位置の各時間ごとの移動から、凍結面前進速度を算出する。その結果に従って、冷却面の温度降下をブライン流量制御によって変化させる。いわゆるプロセスコントロールの手法を用いることで、時々刻々の凍結面の進み方を設定値と等しくする実験方法を試みた。以下に実験装置の概要、実験上の問題点、及び事例について述べる。

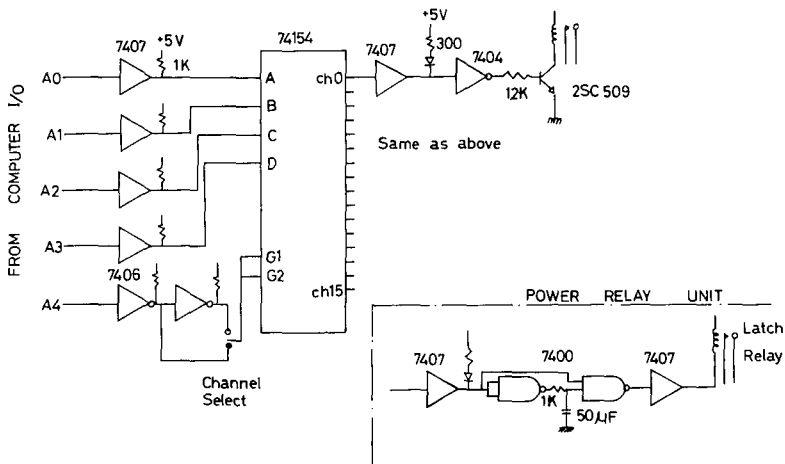
凍上実験で、土中の温度分布の経時変化を適時計測して、凍結面を推定し、その位置の進行速度を算出する。算出速度と設定値とを比較して、冷却条件を制御するのがこの実験方式の基本原理である。装置の概要を第1図に示す。土中の多点温度計測部、演算及び制御を行なう計算機、及び外部電源の制御部と3つの部分からなりたつ。試験土試料内の各点に設置された、微細熱電対(直径0.078 mm)が温度計測素子である。土試料は直径10 cm, 高さ10 cmのアクリル円筒に充てんされてい



第1図 実験装置の概要(システムブロックダイアグラム)

* 北海道大学低温科学研究所業績 第2186号

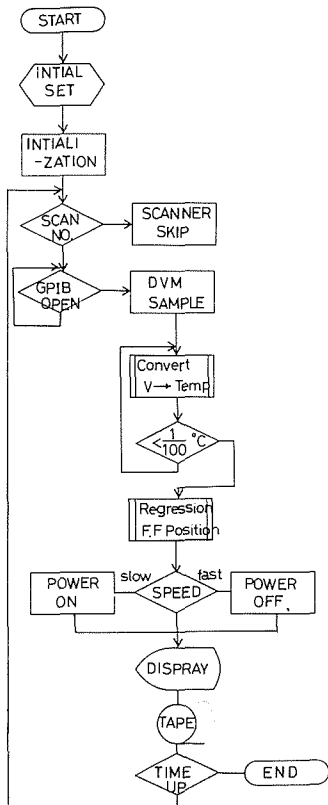
る。凍結面の位置の経時変動を、正確に決定するためには、少なくとも 0.02°C 以内の精度での温度測定が要求される。2 cm 間隔で6点での温度が、低熱起電力のチャンネルセクター(スキャンナー)によって順次測定される。温度、凍上量、吸水量、間隙水圧等もあわせて入力される。全入力要素数は16チャンネルである。各チャンネルを選定し結線することは、コントローラーとなるコンピューターの入出力端子からの、出力制御で行なわれる。コントローラーコンピューターは、8ビットの入出力端子を有するので、出力ビットパターンに応じて、スキャンナーを動作させる。ここで製作使用したスキャンナーの基本回路を第2図に示す。図中で channel select とあるスイッチによって、コンピューターからの出力のうち、下位5ビットの組み合わせから、チャンネル番号を0番から15番(黒丸にスイッチポジションがある場合)、あるいは16番から32番(白丸位置)に変更することが出来る。入力部リレーには、特に接点での熱起電力を低いレベルにするため、接触面積の広いタイプを用いた。熱電対の入力電圧は、前置増幅器を経て、デジタルボルトメーターへ入力される。デジタルボルトメーターでA/D変換された、電圧値はコンピューターへ転送される。測器と計算機との結合は、GP-IBと呼ばれる非同期型のインターフェイスでなされる²⁾。各入力チャンネル毎に、デジタルボルトメーターのファンクションモードが設定されるが、これらの設定条件も計算機から、GP-IBと通じて電圧計へ転送される。すなわち、計算機内に収納されているプログラムに従って、電圧計の測定機能を任意に変更することが出来る³⁾。各点での熱電対入力は、順次増幅後デジタル変換され、計算機内部のサブルーチン処理で温度変換される、熱電対起電力と温度とは、非直線性の関係を有するので、 -30°C から 30°C までのレンジを6本の折線で近似あてはめを行なう。このあてはめ過程での誤差は、 0.014°C 以内である。温度分布から、6点を通る5次曲線近似を行ない、あらかじめ設定した温度に対応する位置を推定させる。決定された凍結面位置は、前回測定時と比較して移動速度として示される。この値が、設定値を越えるかどうかを判定し、冷却面に供給されるブライン流量を変更して冷却面温度降下率を制御する。そのため、8ビット出力の上位4ビットを出力モードとしてパワーリレーを動作させる。このための回路



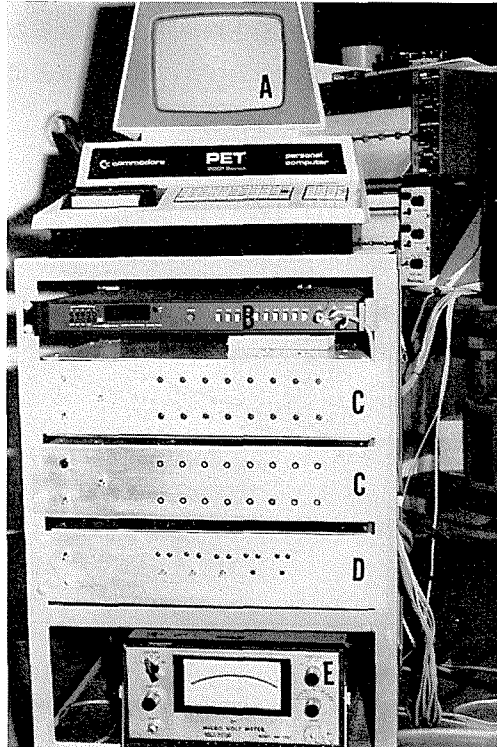
第2図 スキャンナーの基本回路図

ば、第2図右下部分に示されている。すなわち、ワンショットモノマルチによるラッチリレードライブ回路によっている。

以上の手順を、第3図に示すフローチャートにまとめる。また装置の全体概要を第4図に示す。制御の中心となる計算機は、8ビットのCPUを持ち、使用言語は拡張BASICである。使用可能メモリーとしては8Kバイトある。計測と制御の繰り返しは、各10分間毎に行なわれている。凍上実験は、比較的ゆっくりとした温度分布変化なので、この繰り返し時間間隔でも、充分に変動追従が可能である。



第3図 実験の手順及び計算機処理のフローチャート



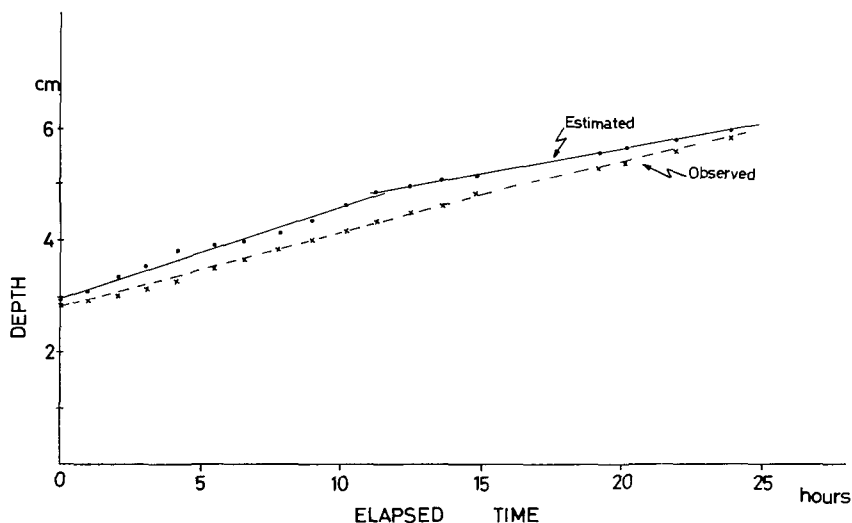
第4図 実験装置の計測、制御部

- A: コンピューター
- B: デジタルボルトメーター
- C: スキャンナー
- D: リレー出力部
- E: 前置増幅器

本制御方式で、凍結面が一定速度で進行することを確認するために、次のような予備実験を行なった。直径10 cm及び7.5 cmの透明アクリル円筒によって、二重円筒の試料容器を製作した。円筒間の空隙は、真空ポンプに接続して1/10気圧まで減圧脱気される。さらに容器は0°Cの恒温室に置かれ、側面を通じての熱交換は無視しうる。以上の装置と準備によって、試料容器中の凍結過程を、直接観察することが出来る。凍結面が明瞭に確認されるように、予備実験では1%濃度の寒天を試料とした。100 ppm程度のメチレンブルーを加えることで、凍結面が容易に確認出来る。熱的性質は、ほぼ水と同じであるが、寒天が加えてあるので、対流の影響を無視出来る。1時間毎に写真撮影を行ない、青色未凍結部と透明凍結部の境界の移動

を観察した。この境界を凍結面と見なしておく。実験制御過程での温度分布と推定凍結面位置は、10分間毎にデータテープに記録させた。

以上の結果を第5図に示す。写真から決めた凍結面と、温度分布から推定した凍結面は一致していない。これは寒天溶液のわずかながらの凍結温度降下によるのであろう。推定面は 0°C 等温面である。直接写真で観察した結果、ほぼ凍結面が一定速度で進行していることが確認された。コンピューターの推定結果では、経過時間が12時間から、速度がやや小さくなる傾向が示された。この原因は、凍結面と冷却面の距離が大きくなると、冷却用ブラインの流量変化と、凍結面での熱交換との時間ずれによるのであろう。経過時間に従って、冷却ブライン温度をわずかに補正することで、この点を改善出来ると思われる。しかし、こうした速度の遅れは、凍上実験で問題となる範囲より小さい。



第5図 水を凍結させた実験結果(凍結面位置)

実線： 計算機による推定位置 点線： 直接観察による位置

実際に土を凍上させた実験とその結果については、凍上のモデルと関連させて別の機会に詳細を報告する予定である。この実験方式は、今後凍上実験の、有効な制御手法となるものと期待される。

文 献

- 1) 高志 勤・益田 稔 1975 凍結面に吸排水を伴う定常蔽密解とその応用. 雪氷, **37**, 13-20.
- 2) 金原節朗 1978 GP-IB と CAMAC システムについて. 計測と制御, **17**, 153-161.
- 3) 岡村道夫 1978 IEEE-488 標準デジタル・バスとその応用. インターフェイス, **5**, No. 2, 45-108.