

## 別紙 A 応募フォーム詳細

### 1. 実験テーマ名

微小重力下における土壌粒子モデル間隙中の水分移動

Water movement in experimentally-modeled soil void spaces under microgravity

### 2. Abstract

Plants grown in porous media are part of a life supporting system designed for long-duration space missions. It is important to understand water movement in porous media to properly control growing environment of plants under microgravity. Under 1G condition, on earth, water movement is expressed with the Darcy's law of soil physics. Under microgravity condition, however, the law isn't valid so that water movement under such the condition is still not well understood. Watanabe et al. (2011) conducted parabolic flight experiments to observe water movement in porous media using glass beads. They reported that although water moved upward along the side of a column that was filled with glass beads under microgravity, water was hardly moved in the void space of glass beads. Their results showed that more experiments on water movement in porous media are needed to observe water movement in a void space with a smaller scale under microgravity. The objectives of this study are to visualize water movement in experimentally-modeled soil void spaces under microgravity and to elaborate the mechanism of water movement by image analysis. The structure of soil particles are indeed much complicated, so that water may move different pathways in void space made with different arrays of soil particles. Therefore, we'll make various arrangements of experimentally-modeled soil particles made from spherical bodies, the base of round bottom flasks and glass beads.

#### (和文)

長期間・多人数の宇宙開発ミッションを行うには生命維持装置が必要であるが、その一つとして多孔質媒体での植物栽培が考えられている。多孔質媒体中の水分移動を理論的に解明することは、微小重力下において植物の栽培環境をコントロールするために重要である。1G 環境下である地球上において、多孔質媒体中の水分移動は土壌物理学分野で Darcy の法則によって表現されている。しかし微小重力下においてはこの法則は適用できないため、水分移動の理論は未だに明らかでない。渡辺ら(2011)がパラボリックフライトで無重力実験を行い、ガラスビーズを用いた多孔質媒体中の水分移動を観察した。結果として、微小重力下における水分の上昇、さらにはガラスビーズを充填したカラム内の壁面を伝った水分の上昇を観察した。しかし一方で、ガラスビーズ間隙内の水分移動を詳しく観察することができなかった。よって微小重力下での水分移動を明らかにするには、多孔質媒体中の水分移動をより細かなスケールでさらに解析する必要がある。

そこで本実験では、土壌粒子モデル間隙中の微小重力下における水分移動を可視化し、画像解析によって水分移動のメカニズムを解明することを目的とする。土壌粒子構造は非常に複雑であるため、本実験ではいくつかの丸底フラスコとガラスビーズを

組み合わせて異なる配列の土壌粒子モデルを作成し、異なる配列ごとの水分移動の違いを解析する。

### 3. 実験の目的・概要

微小重力下で作物を育てる宇宙農業が、長期間・多人数の宇宙開発ミッションにおいて重要とされており、宇宙農業を行う方法として水耕栽培や土耕栽培を行うことが適切であると考えられている。土耕栽培を行うにあたって、微小重力下における多孔質媒体中の水分移動のメカニズムを明らかにすることが、宇宙空間での植物の生育環境を調節する上で非常に重要である。これまで多孔質媒体中における水分移動については、土壌物理学分野で Darcy の法則に基づいた間隙が水で飽和した液状水の移動論が発展してきた。こうした多孔質体中における水分移動の理論は、あくまでも 1G 環境下である地球上で起こる現象を表現したものである。それに対し、微小重力下での水分移動のメカニズムは明らかでない。

渡辺ら (2011) は、ガラスビーズを土壌粒子と仮定して模擬土壌を作成し、微小重力下における模擬土壌中の水分移動を可視化する実験を行い、水分の上昇を可視化することに成功した。しかしながら、彼らは、ガラスビーズ表面の濡れ性がカラム壁面に比べて高かったために、ガラスビーズ間隙内の水分上昇よりもカラム壁面を伝った水分上昇の方が大きかったことを報告した。また、彼らの実験では模擬土壌を充填したカラム全体 (内径: 80mm, 高さ: 300mm) を可視化したために、間隙内の水分移動を詳細に捉えることが出来なかった。

微小重力下における多孔質媒体中の水分移動のメカニズムを明らかにするには、カラム壁面を伝った上昇を抑え、より細かなスケールで土壌粒子間隙中の水分の上昇の仕方を解析する必要がある。また土壌粒子間隙中の水分の挙動は土壌粒子の配列の違いによって変化する可能性があるため、その検証が必要である。

そこで本実験では、異なる配列の土壌粒子モデル間隙中の微小重力下における水分移動を可視化し画像解析することで、メカニズムを解明することを目的とする。

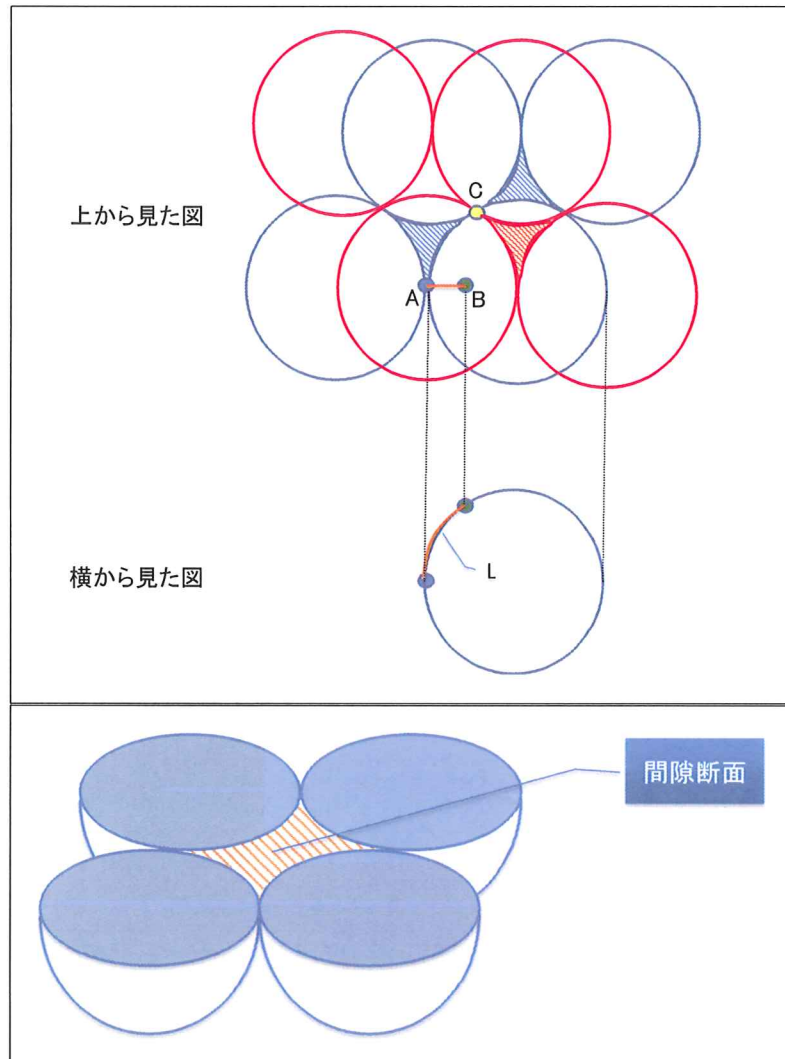
### [期待する成果]

本実験において期待する成果は、粒子モデル間隙中の水分移動を画像で取得し、間隙中の水分移動のメカニズムを明らかにすることである。

水分移動の挙動は、以下の要因によって変化すると考えられる。

- ①粒子間の接点の数：配列中の粒子どうしが接する点の数（例；A,B,C等）
- ②接点間の距離：配列中の粒子どうしが接する点から点の距離（例；下部粒子どうしの接点Aから、下部粒子と上部粒子の接点Bまでの長さL）
- ③間隙断面の面積；ビーズの接点を結んでできる間隙の断面の面積（例；下図）

各配列のこれらの要因の違いによる水分移動の変化をとらえ、微小重力下における水分移動を左右する因子を明らかにする。



#### 4. 実験内容の区分 その他（農学）

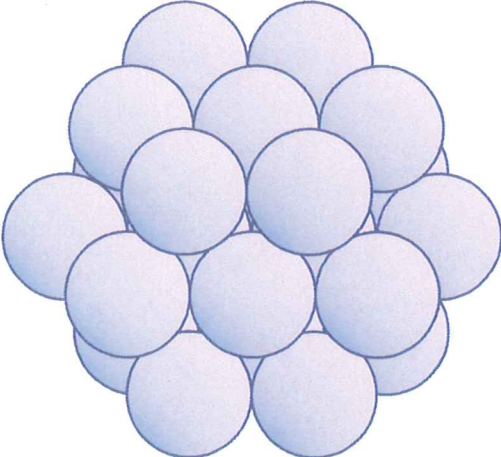
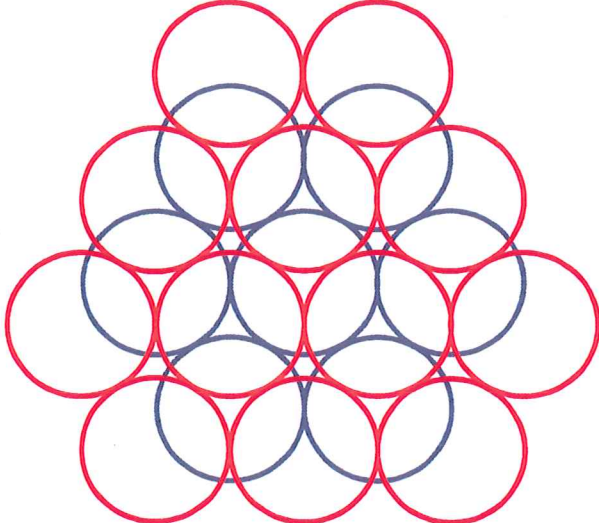
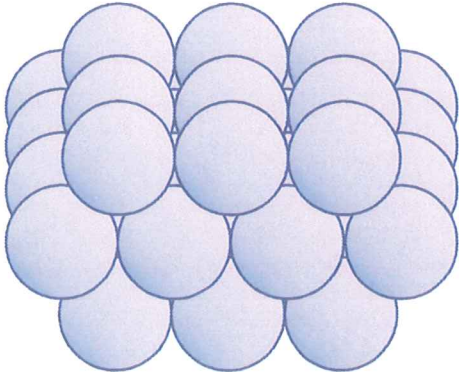
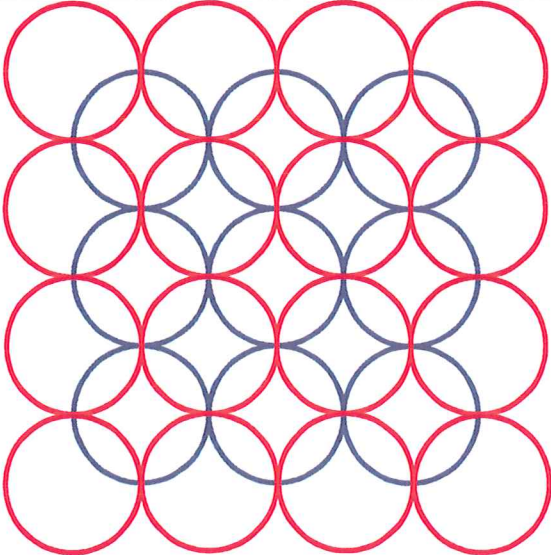
## 5. 実験手順

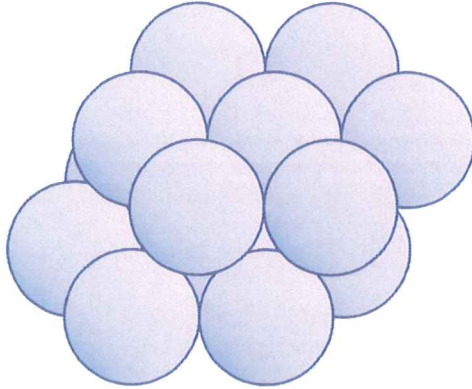
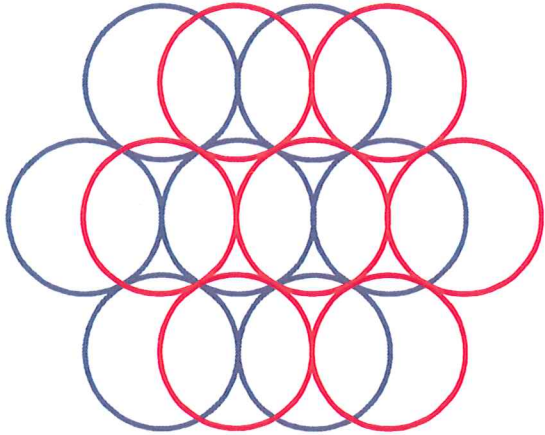
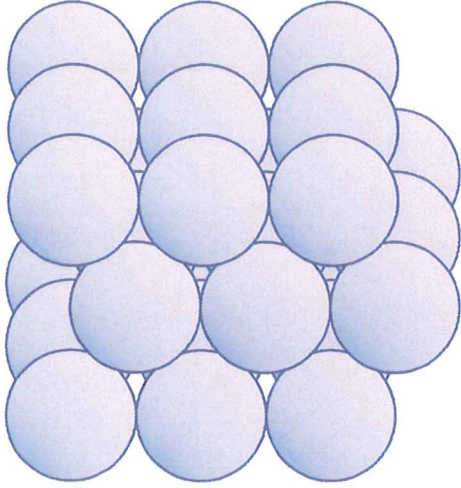
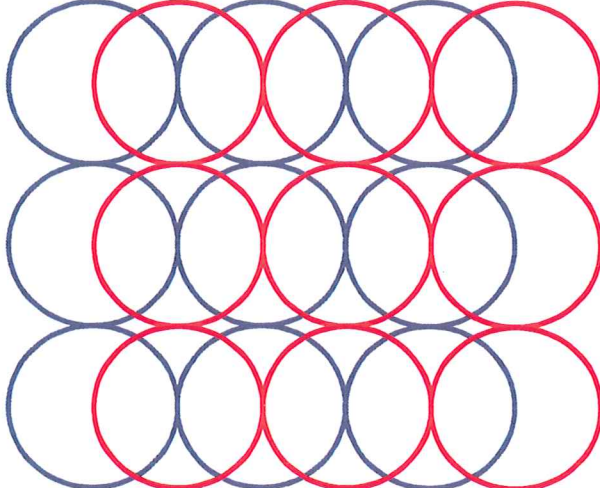
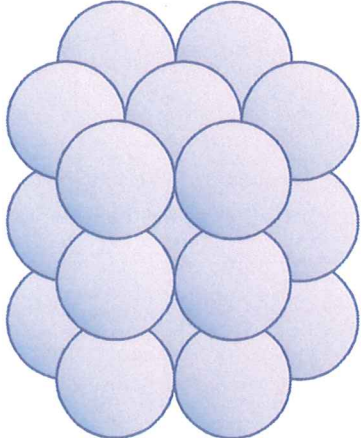
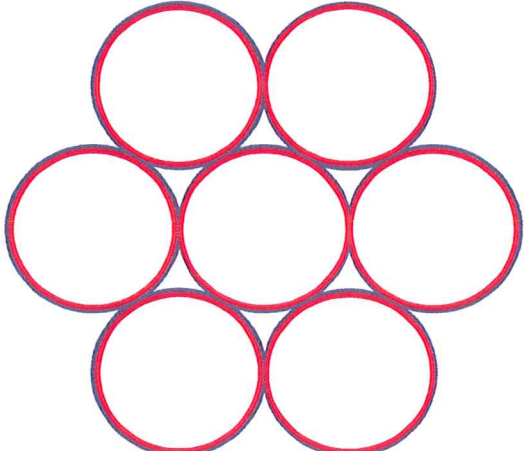
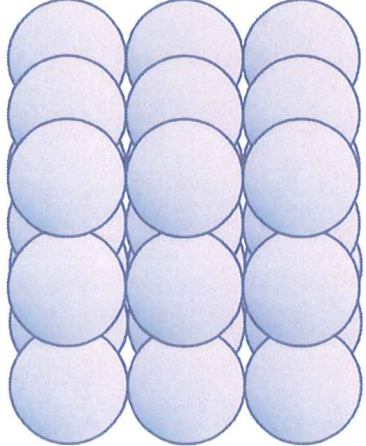
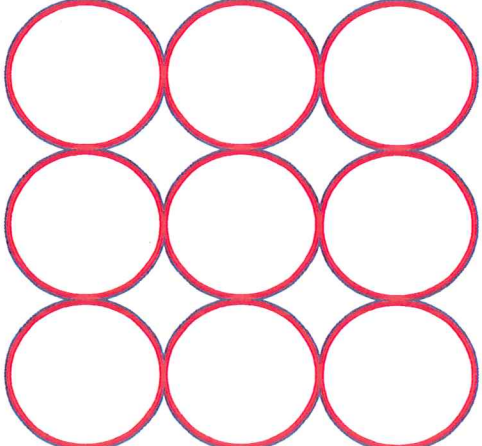
### 1) 土壌粒子配列の再現

無色透明の丸底フラスコの底部とガラスビーズを用いて、土壌粒子配列を模擬的に再現した土壌粒子モデルを作成する。丸底フラスコとガラスビーズの固定には液体エポキシを使用する。

丸底フラスコの内部から土壌粒子モデル間隙中の水分移動を観察するために、丸底フラスコの首から顕微鏡を差し込み粘土で固定する。顕微鏡を設置しない粒子には、丸底フラスコの代わりにガラスビーズを使用する。

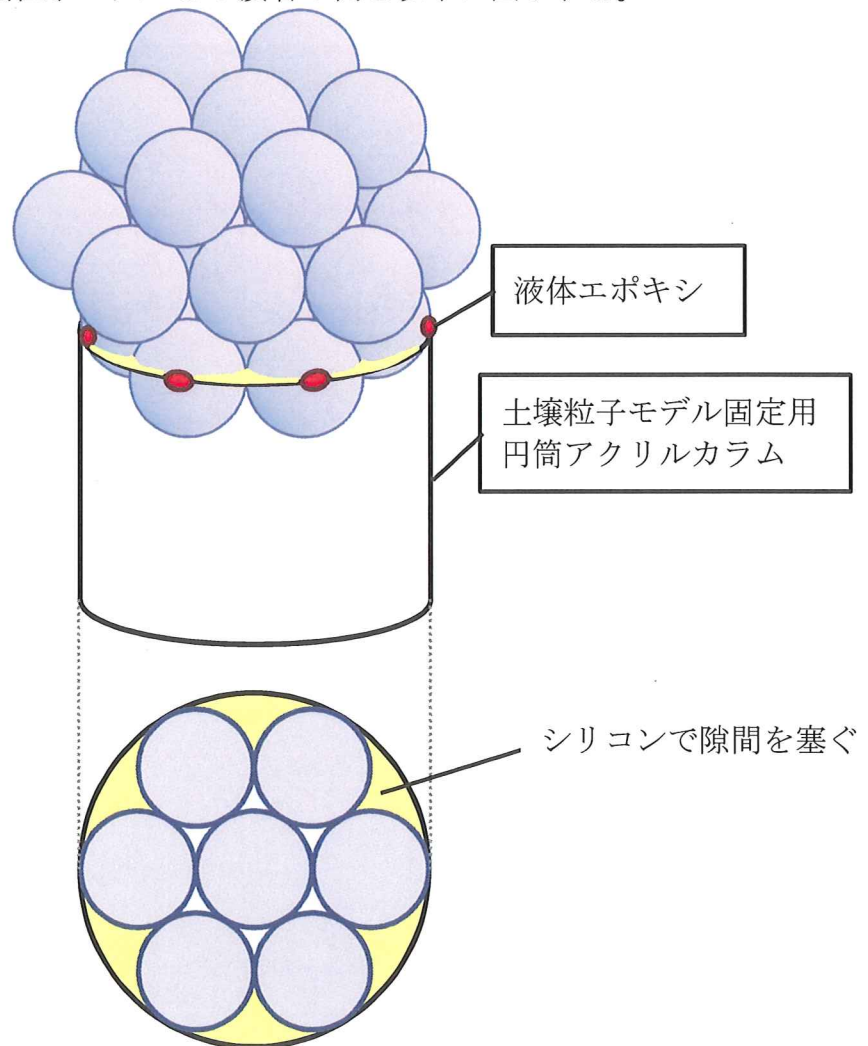
6種類の配列の土壌粒子モデルを作成し、1回のパラボリックフライトにつき3種類の土壌粒子モデルを使用する。以下に土壌粒子モデルの6種類の配列の詳細を示す。

番号	立体図	上から見た図(青：1・3段目, 赤：2段目)
a		
b		

c		
d		
e		
f		

## 2) 土壌粒子モデルの固定

土壌粒子モデル固定用円筒カラムと、1)で作成した土壌粒子モデルを液体エポキシで接着する。土壌粒子モデル a の接着の例を以下に図示する。



水分が土壌粒子モデル間隙中のみを伝わるようにするために、土壌粒子モデル 1 段目と土壌粒子モデル固定用アクリルカラムの間の隙間をシリコンで埋める。

## 3) 溶液の作成

ピンク色の水性インクを蒸留水に溶解させ、水分移動を観察するために用いる。

## 4) パラボリックフライト前までの準備

2)を水源容器内に固定した後、バルブを開き、シリンジを用いて水源容器内に 3)で作成した溶液を注入する。

顕微鏡を微調節し、丸底フラスコ内の間隙にピントを合わせる。

最後に円筒カラムを固定する。

## 5) 離陸後からパラボリックフライトまでの準備

顕微鏡による動画撮影を開始する。

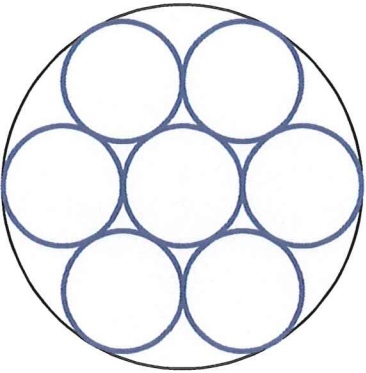
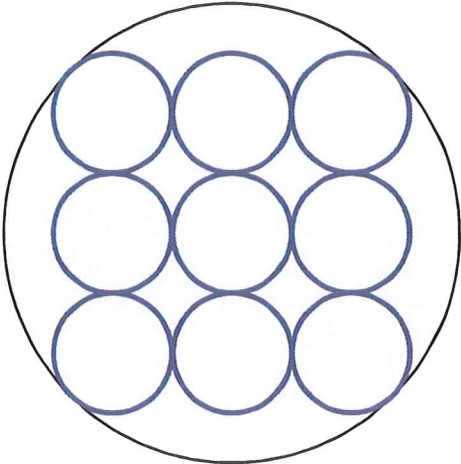
## 6) 画像解析

動画撮影から取得した静止画をもとに画像解析する。

## 6. 実験装置概要

### ○カラム詳細

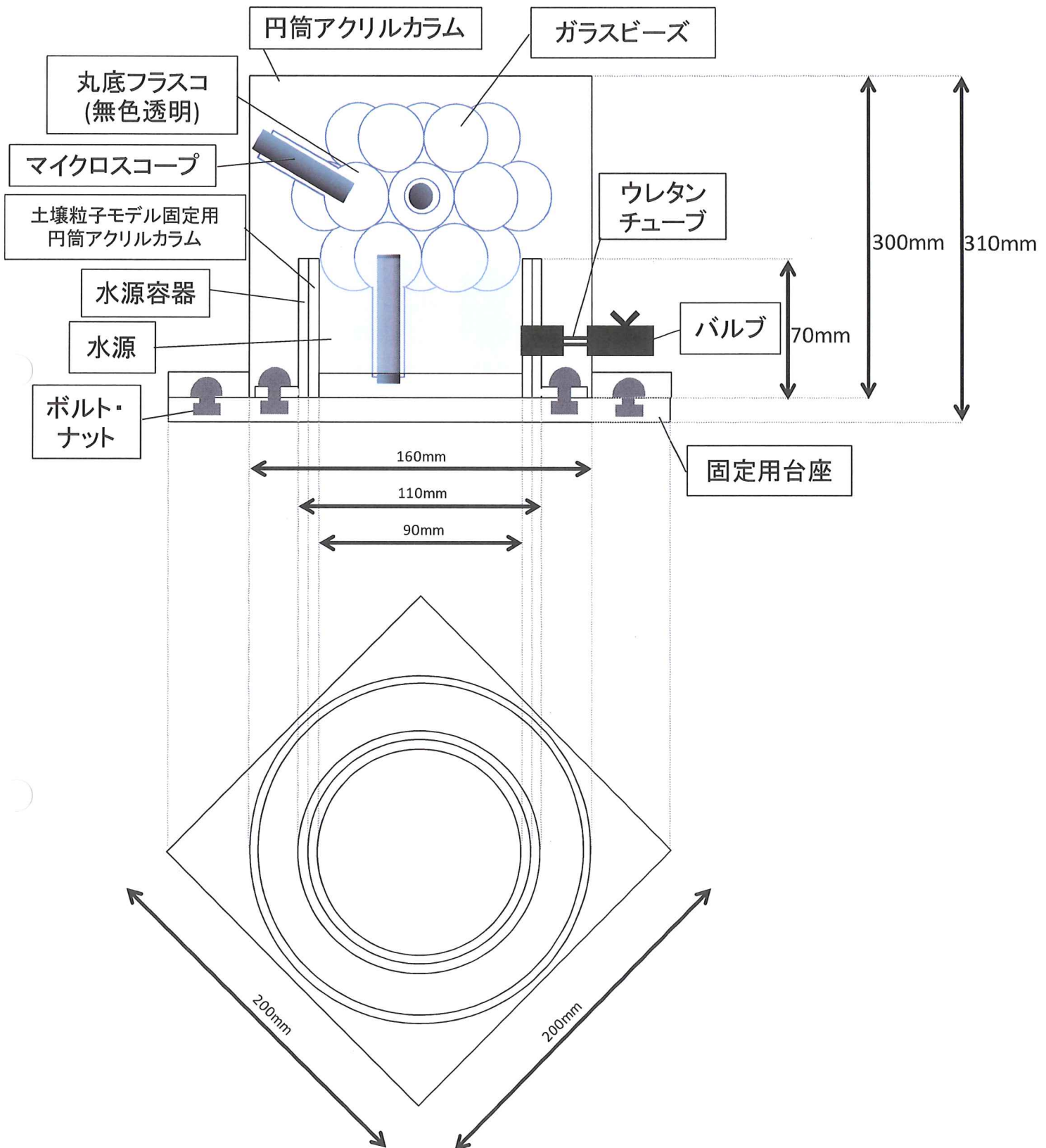
実験手順で示した6種類の土壌粒子モデルは全て、1段目の配列を以下の2通りに分類することができる。

配列の種類	p	q
上から見た図		

P と q では配列が異なるために、土壌粒子モデル固定用円筒アクリルカラムの直径が異なる。よって、土壌粒子モデルの1段目の配列に合わせて、サイズの異なる2種類の実験装置を用意する。

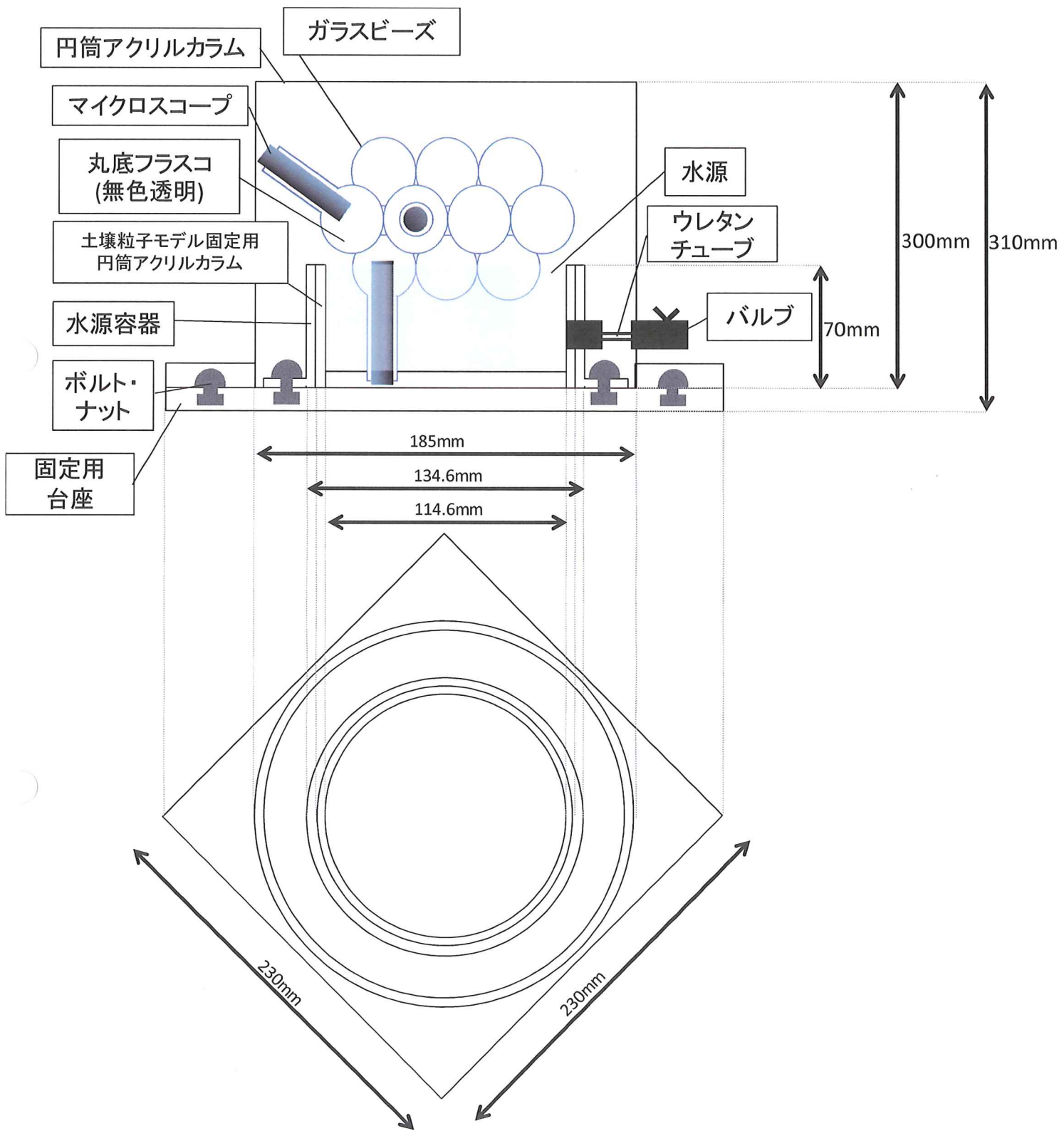
土壌粒子モデルの1段目が p の配列であるときの実験装置をカラム 1、q の配列であるときの実験装置をカラム 2 とする。

[カラム 1]



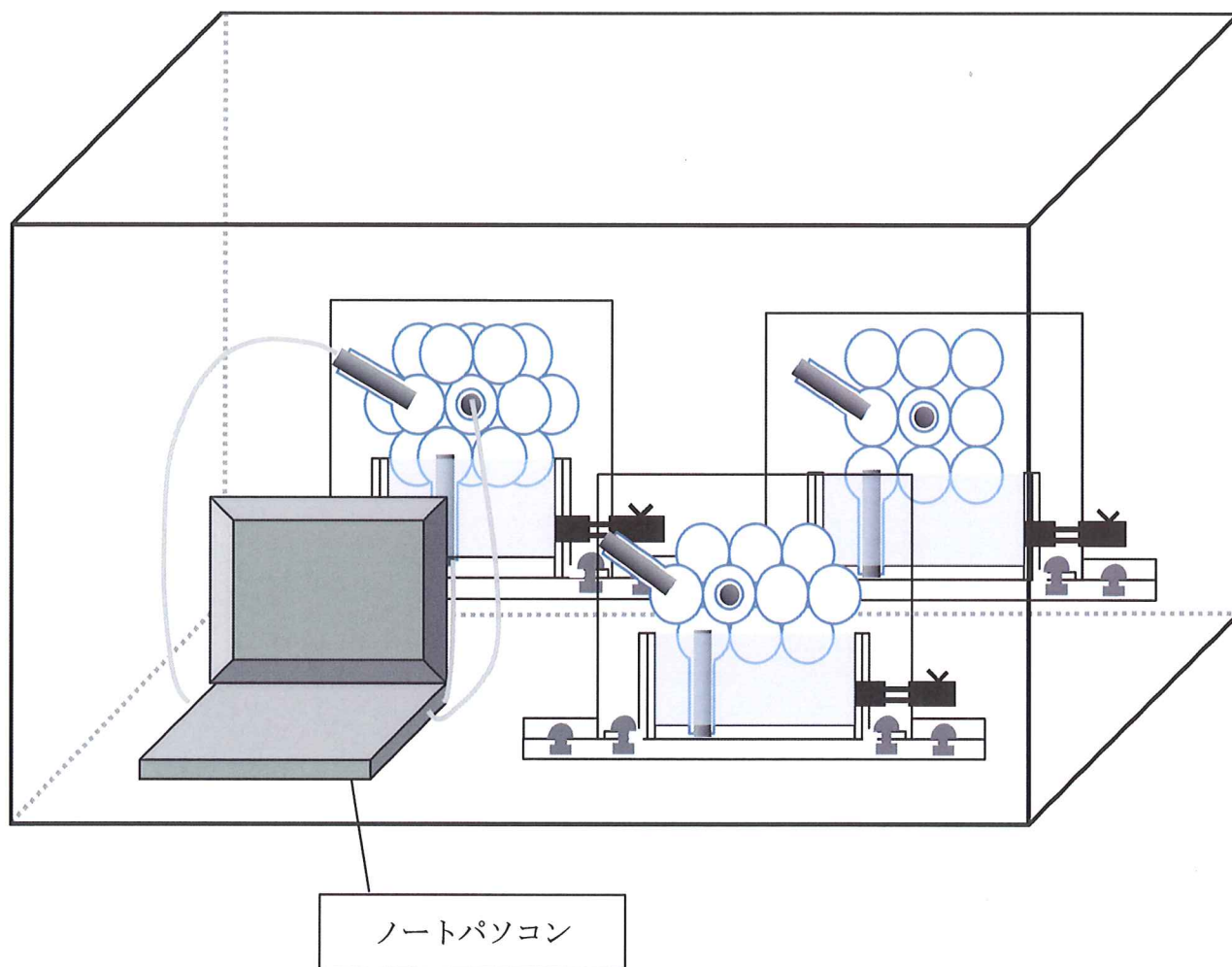


[カラム 2]



いずれのカラムも、1つのカラムにつき3つのマイクロスコープを設置し、3方向から撮影することによって3次的に水分移動を解析する。

## ○ラック内実験装置



1回のパラリックフライトにつき3種類のユニットを使用するため、ラック内には3つのカラムを設置する。またマイクロ스코ープはUSBポートでノートパソコンに接続し、取得した画像を保存する。図中では1つのカラムのマイクロ스코ープのみノートパソコンに接続しているが、他2つのカラムのマイクロ스코ープも同様にノートパソコンに接続するものとする。

## 7. 実験装置のサイズ／重量概算

コラム 1：底面が一辺 200mm の正方形の台座上に、直径 160mm、高さ 300mm の円筒コラムを固定したもの。

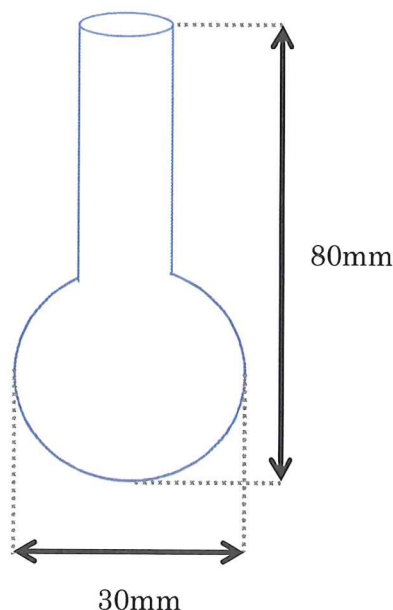
コラム 2：底面が一辺 230mm の正方形の台座上に、直径 185mm、高さ 300mm の円筒コラムを固定したもの。

ガラスビーズ：粒径 30 mm であるもの。

丸底フラスコ：ガラス製で、底部が直径 30mm の球形であり高さが 80mm であるもの。  
口の部分にゴム栓などの蓋をして使用する。

\*丸底フラスコの使用理由

- ①丸底フラスコの内部にマイクروسコープをセットすることができ、土壤粒子モデル間隙中の水分移動をより詳しくとらえることができるため。
- ②ガラスビーズよりも光の屈折が緩和され、水分移動を観察しやすいため。



総重量概算：50kg

## 8. 必要な電源容量概算

AC100V (Max. 3Amp)

## 8. 実験支援装置の利用要望

実験開始信号

## 9. 危険物等の搭載の有無

(高圧ガス・可燃物・毒物・その他)

無し

## 10. 実験実施時の航空機への搭乗希望有無

(  有 ・  無 )

## 11. 役割分担

佐藤、名倉、南、片野の4人でその日の体調により搭乗者を決め、残りは地上で実

験補佐をする。

## 12. その他特記事項