

実験場所

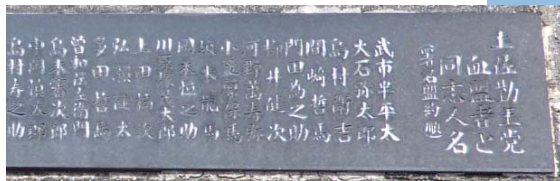
今回の実験は担当者の出身地である高知県の実家にある家庭菜園で行ないました。これには以下のような理由があります。



羽田-高知龍馬空港で就航しているB767-300。直線と直角を基調とした機内デザインが20世紀っぽい。実験とは全く関係ありませんが…。

- ・ トマト栽培と生育状況の確認を気軽に依頼できること。
- ・ 実験を行うと栽培中の作物にダメージを与える可能性があるがそれに関して遠慮する必要がないこと。
- ・ 実験資材などの置き場所や実験機器の製作、組み立て場所がある程度確保出来ること。
- ・ 資材購入などに関して土地勘があり、更に時間を気にせず遠慮なく実験できること。

特に、農家や研究所の作物は出荷や研究のため栽培されるのでダメージを与える可能性のある実験を実施できませんが、それを気にしなくて良いのが1番の理由です。



↑土佐勤王党の人名一覧。半平太を筆頭に龍馬を含め200名を超す人名が刻まれています。

→

高知といえば…坂本龍馬が有名ですが、右写真の銅像は武市半平太です。



実験目標

実験の最終目的は、かぎけんの熱流体解析ソフト KeyFlow の支配方程式 (eq.1) ~ (eq.4) における開口率 A^x, A^y, A^z の値を求めるための元データを取得することです。但し、作物の種類や生育具合、部位等によって値が大幅に変わるのは自明なので、高精度の実験を行うことを目的とせず現場で少人数かつ短時間で結果が得られることを重視しました。また、それぞれの変数を表 1 に示します。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial(A^x \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial(A^y \cdot v)}{\partial y} + \frac{\partial(A^z \cdot w)}{\partial z} \quad (\text{eq.1})$$

$$\rho \cdot \frac{\partial(V_f \cdot u)}{\partial t} = -A^x \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \rho \cdot \left\{ u \cdot \frac{\partial(A^x \cdot u)}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial(A^y \cdot u)}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial(A^z \cdot u)}{\partial z} \right\} \quad (\text{eq.2})$$

$$\rho \cdot \frac{\partial(V_f \cdot v)}{\partial t} = -A^y \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + \rho \cdot \left\{ u \cdot \frac{\partial(A^x \cdot v)}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial(A^y \cdot v)}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial(A^z \cdot v)}{\partial z} \right\} \quad (\text{eq.3})$$

$$\rho \cdot \frac{\partial(V_f \cdot w)}{\partial t} = -A^z \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + \rho \cdot \left\{ u \cdot \frac{\partial(A^x \cdot w)}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial(A^y \cdot w)}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial(A^z \cdot w)}{\partial z} \right\} \quad (\text{eq.4})$$

表 1 変数表

変数	物理量	単位
t	時間	[s]
x, y, z	空間の座標値	[m]
ρ	空気の密度	[kg/m ³]
u, v, w	流れの速度成分	[m/s]
A^x, A^y, A^z	x, y, z 軸向きの速度に対する開口率	-
V_f	流体充填率(1-植物の体積)	-
p	圧力	[Pa]

実験方法

前述の(eq.1)～(eq.4)の開口率を導出することが目的ですが、この値は実験から直接測定することが出来ません。従って、作物を通過する流体、つまり空気の色度に関して風洞実験を行い、その前後の風速分布がどのように変化するかをまず実験します。この実験結果と、ある開口率を与えて流体解析を行った結果を比較することで開口率として与えるべき値を予測します。図1にその手順の概略を示します。

④実験結果と解析結果を比較しより適切な開口率を検討・再計算を繰り返す。

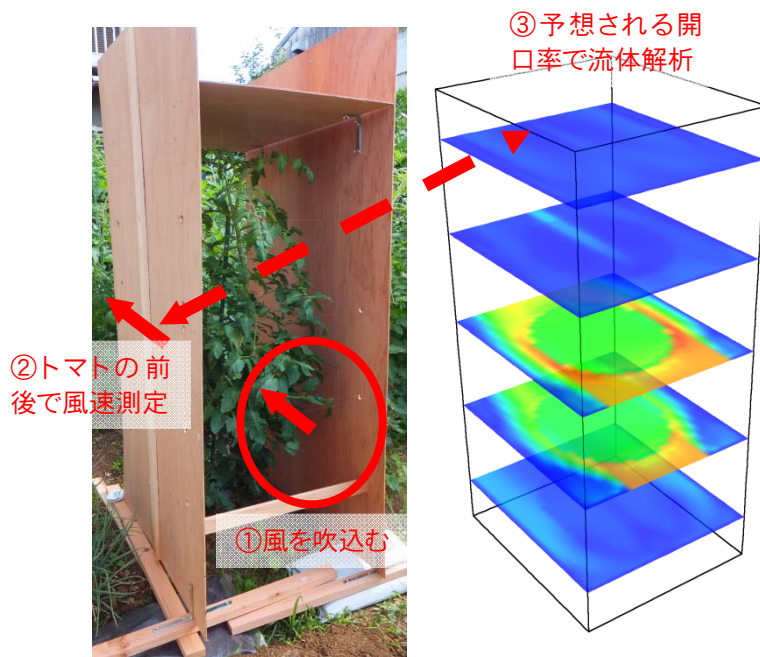


図1 実験結果から開口率を求める手順

本来は風洞に栽培中のトマトを配置して風を送り込み測定を行うのが理想的ですが、圃場で測定を行う都合から図1に示すような簡単な囲いをトマト周りに設置し、そこに風を吹込み測定しました。

実験装置

実験装置は、主に作物囲いと送風ファン、風速計です。まず作物囲いは現場での加工性や作業性を勘案し4mm厚の耐水ベニヤを用いました。解体・設置を頻繁に繰り返すことから、工具を用いず組み立てられるよう部材は蝶ボルトとナットでL型アングル固定としました。(図2 赤)

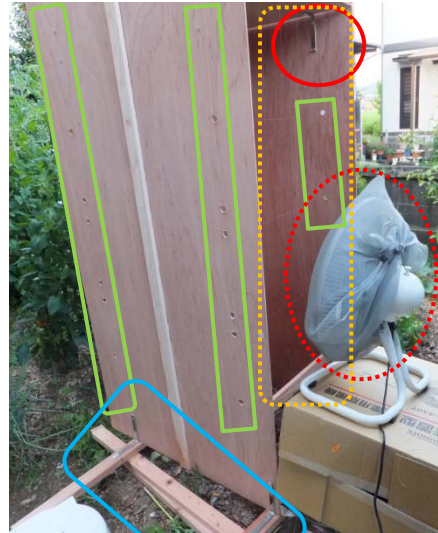


図2 作物囲いと送風ファン

囲いの側面には測定を行うためにプローブを挿入する穴を必要場所に開けています(図2 緑)。高さ方向に4か所測定するため測定穴は上流下流それぞれに8か所ずつ空いています。4か所の測定で8か所の穴が空いているのは、図2の奥行き方向の速度測定はプローブと穴の位置関係から、風速向きと上向きの測定の際とは別の位置からプローブを挿入する必要があるためです。またナイロン糸を垂直及び水平に張り測定位置を特定しました。(図2 橙点線) L型アングルがベニヤを挟むように向かい合わせで固定した長材を台座として4つ用いて全体を固定しました。(図2 青) ファンは一般的な床置型工場扇を1台使用しました。但しそのままでは風量が大きすぎるため、ファン部分を目の細かい網で囲い風量を調整しました。(図2 赤点線) 図2では調整中のためファン位置は固定していませんが、ファンカバーの先端が囲いの端に位置し、ファン中心が囲い中心を通り高さ50cmまたは70cmとなるように固定しました。

測定

トマトの桃太郎(大玉種)とアイコ(ミニトマト)の2種類を対象に測定を行います。この2種を選択した理由は桃太郎の葉密度が高いのに対して、アイコは葉密度がやや低く、測定値の差を明確にしやすいからです。

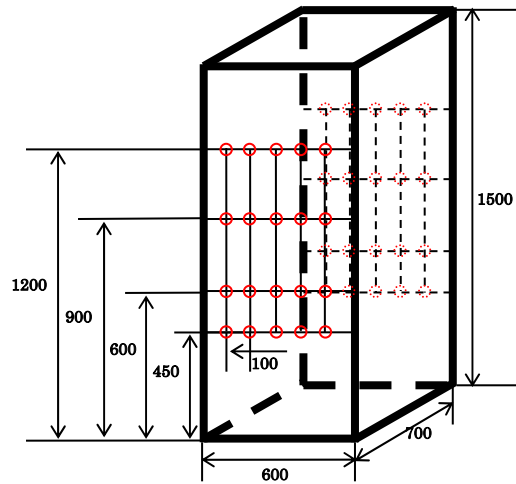


図3 桃太郎測定位置 単位は[mm]

測定箇所は上流及び下流側でそれぞれ10cm×30cm(一部15cm)間隔の5×4点で1種類について40か所です。それぞれの箇所では3軸速度を5回測定し、その最小値と最大値を除いた3つの値の平均値をデータとして採用します。

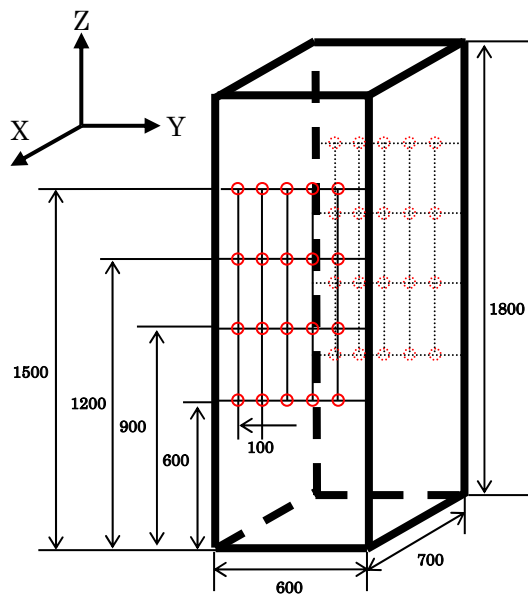


図4 アイコ測定位置 単位は[mm]

風速計

風速の測定はカノマックス社 Anemomaster LITE MODEL6006(図 5)を用いて、測定点における3軸流速成分の絶対値を測定しました。

伸び縮みして直角に曲がるプローブホルダが便利です。液晶に圧力や湿度の表示部がありますが、残念ながら測定は出来ませんが、上位機種と液晶が共通なのでしょう。出来ないと分かっていたとしてもひょっとしてと思いましたが、やはり無理でした。



図 5 熱線風速計

測定結果の処理

前述した測定結

果は3軸の流速なので符号は常に正です。速度ベクトルを得るには符号を適切に追加しなければなりません。このため、上流側ではファン中心から離れる方向に速度ベ

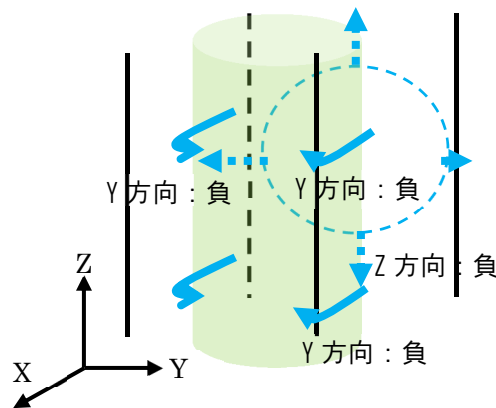


図 6 速度ベクトル成分が負になる位置

クトルが向いていると仮定し符号を追加しました。同様に下流側で速度ベクトルは作物を回り込みながら上を向いていると仮定しました。

また、速度ベクトルのデータは単なる数値の羅列で、実験中の流れがどのようなになっているか把握しにくいいため **データ可視化ソフト KeyPlot** を用いて速度ベクトルと流速分布を可視化しました。

データの可視化—桃太郎(ファン低位置)

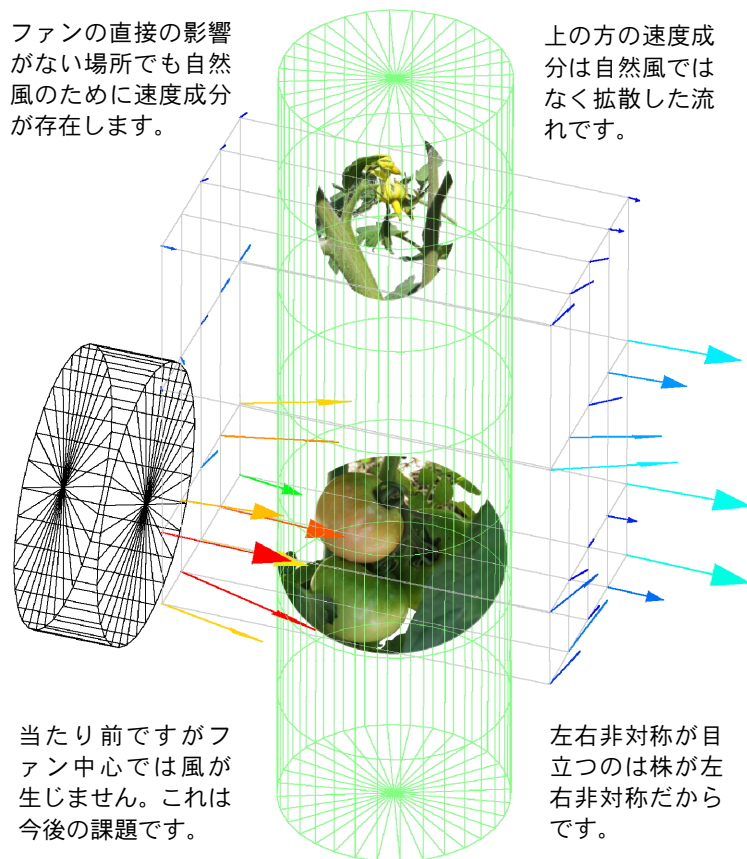


図7 桃太郎株を通過する風速実験結果 (ファン低位置)

図7にファンで発生した風が桃太郎株を通過する際の、上・下流速度を図化処理した画像を示します。左側の円筒形はファンを模式的に表し、中心の緑の円筒は株の葉がある領域をイメージしやすいように示したものです。勿論実験の際には円筒ではなく桃太郎の茎や葉、実があります。尚、本章の図化処理は全てデータ可視化ソフトKeyPlotで行なっています。

データの可視化—桃太郎(ファン高位置)

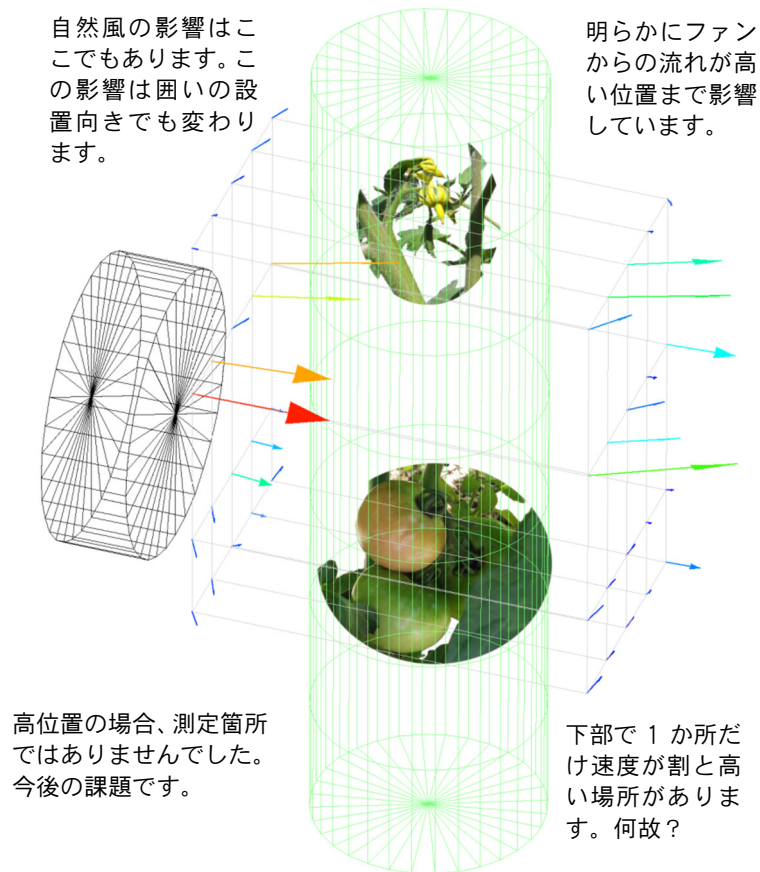


図8 桃太郎株を通過する風速実験結果 (ファン高位置)

図8から分かるように桃太郎は葉密度が高いため流れは直進することが出来ず拡散しながら下流に流れます。流入が3[m/s]前後にも関わらず、下流では1[m/s]前後の流速になっており、株の影響が大きいことが読み取れます。

データの可視化ーアイコ(ファン低位置)

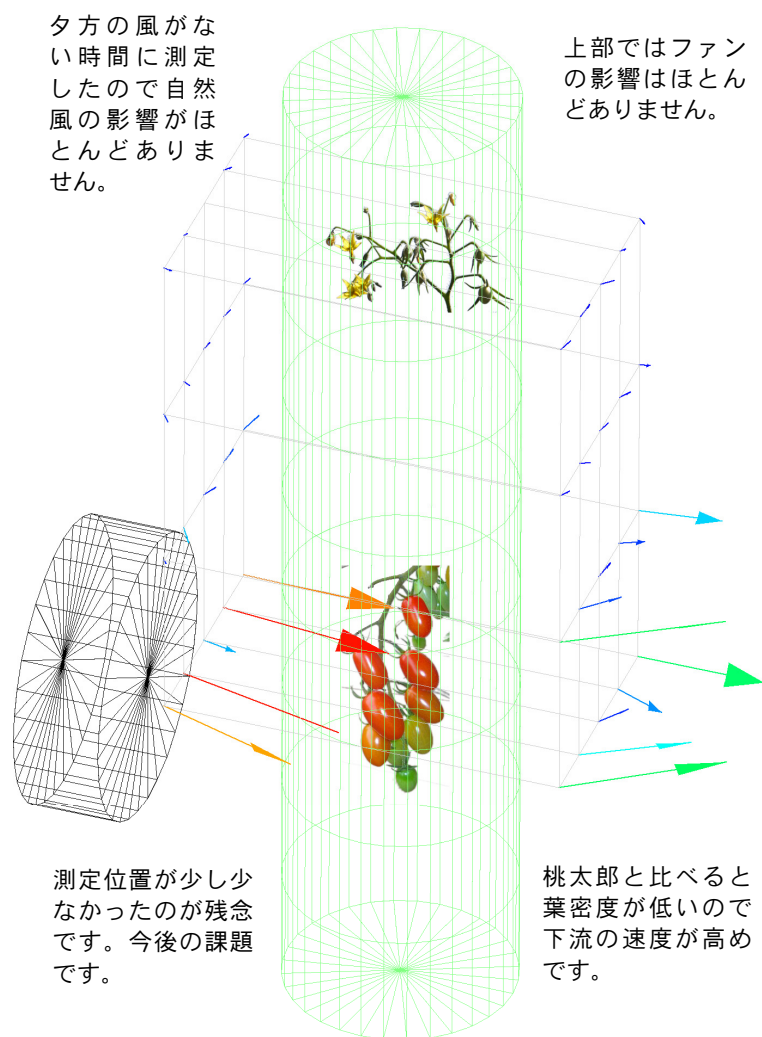


図 9 アイコ株を通過する風速実験結果 (ファン低位置)

図 9 から、アイコ株を対象にした実験結果では桃太郎との葉密度の差が特に顕著に表れることが確認できました。

データの可視化ーアイコ(ファン高位置)

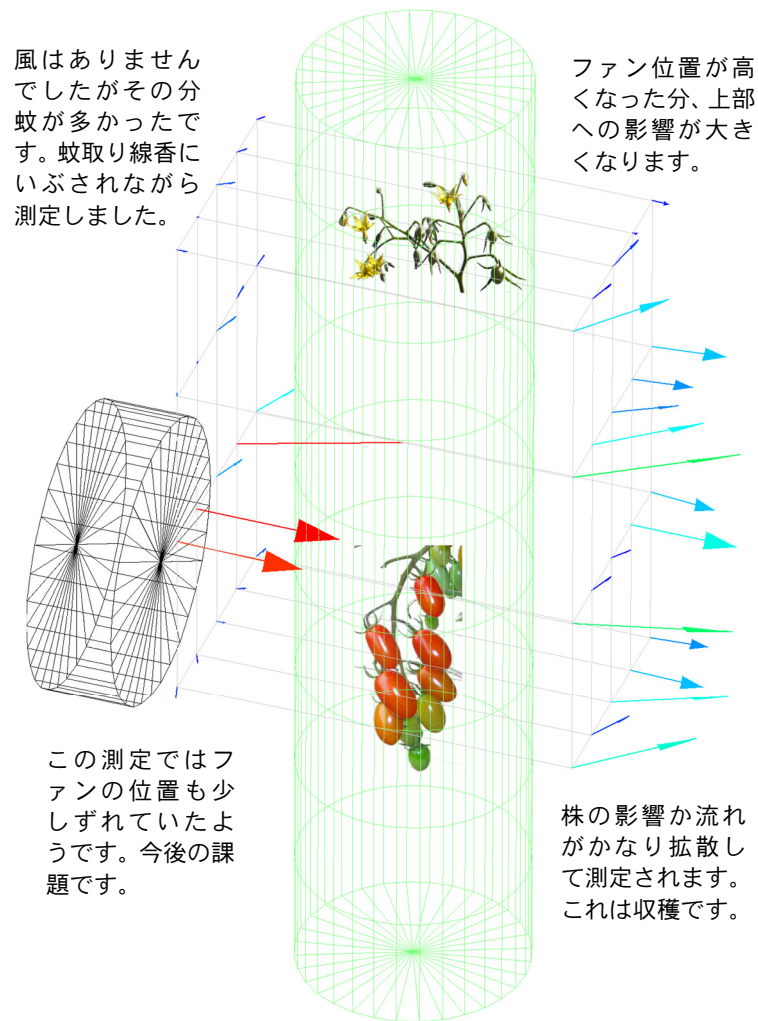


図 10 アイコ株を通過する風速実験結果 (ファン高位置)

図 10により株の影響による流れの拡散は葉密度が高い方が起こりやすいと考えていましたが実際には逆でした。葉密度が高い場合、拡散する効果より遮ってしまうので風が通過出来ないようです。

開口率の導出状況

これまでの実験結果と特定の開口率を与えて流体解析を行った結果を比較することで開口率を導出します。勿論、最初に与えた開口率が正しい訳ではないので少しずつ修正しながら最適な値を求めるといふ繰り返しが必要です。

現在この繰り返しの計算を行なっている途中でまだ正確な開口率の値は導出できていません。但し、これまで解析を行なってきた中でいくつかの事が見えてきました。

例えば、開口率に関してビル風解析などで使われる植栽をモデル化する場合の値はトマトを対象とする場合は適当ではないことなどです。これは植栽が樹木である一方、トマトは果菜なので当然ですが、データがない場合に安易な援用は出来ないことを意味しています。

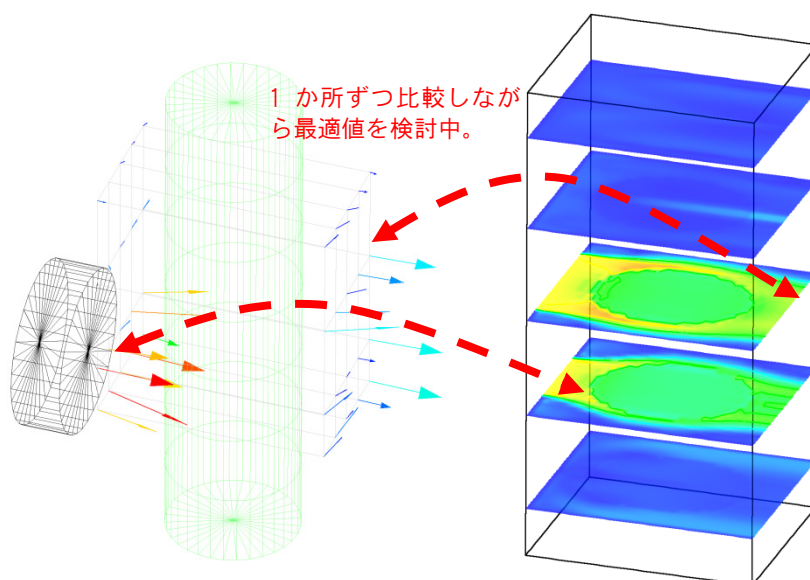


図 11 開口率の導出法

まとめ

今回の予備的なトマト株の開口率測定実験を通して多くのノウハウと知見が得られました。それらを以下に列挙します。

開口率 正確な値は現在検討中ですが、桃太郎株の下部において **開口率は0.4~0.5程度** の値が見積もられました。

送風 ファンは一般的な工場扇に風量調整用の網を取り付けたものを今回使用しました。最大の問題はファン中心部において流速が低いため、流れ場がそもそも複雑になる点です。風洞設備ではファンの直後に整流装置を取り付けるのが一般的ですが、圃場ではそのスペースを確保するのが困難です。この問題は小型ファンの多数使用などで今後改善したいと考えています。また、ファンの向きが測定結果に大きく影響するためこれを圃場で正確に決める工夫が必要です。

測定位置 測定位置は囲いを作成する際に決めたので、実験では適切な位置で測定が出来ませんでした。測定位置は予め決めておくのではなく、現場合わせて行なう必要があることが分かりました。

作物囲い 今回は作業性を重視して4[mm]厚のベニヤを使用しましたが、補強材を適切に追加しないと強度が不足することが分かりました。作業性と強度のトレードオフは今後の検討課題です。

人員 測定は当初1名で行なう予定でしたが、データの効率的な採集にはプローブを操作し値を読み取る人と値を記入する人の2名が必要であることが分かりました。