

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：56401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06332

研究課題名(和文) システム同定法によるビニールハウス内飽差の数学モデルとそれに基づくモデル予測制御

研究課題名(英文) Model predictive control based on mathematical model of humidity deficit in greenhouses by system identification method

研究代表者

中山 信 (Nakayama, Shin)

高知工業高等専門学校・ソーシャルデザイン工学科・准教授

研究者番号：40445846

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：一般的なビニールハウスでは、乾燥しやすい冬期において、気温制御により窓が開かれた際、ハウス内飽差が $6\text{g}/\text{m}^3$ 以上となって植物の気孔が閉じるなど、植物生長に影響を与えることが問題となっている。本研究では、「制御出力：ハウス内飽差・ハウス内気温」、「制御入力：窓開度」、「外乱入力：ハウス外飽差・ハウス外気温・ハウス内照度」と設定して、これらの実測値データから、システム同定法を用いて、ハウス内飽差気温の数値モデルを作成した。本モデルを利用したモデル予測制御窓開閉器は、ハウス内気温を目標値 27°C に維持しつつ、ハウス内飽差は上限値 $6\text{g}/\text{m}^3$ 内で目標値 $4.5\text{g}/\text{m}^3$ に近づく制御ができることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義は、システム同定法による具体的なビニールハウス内の飽差気温モデルの作成手法と、モデル予測制御の実践方法を示し、その効果を証明した点である。社会的意義は、ハウス内外に温湿度・照度・窓開度のセンサを設置すれば、既設の窓開閉装置を利用して、ハウス内飽差気温のモデルベース制御がどのハウスでも利用できるようになることを示した点である。

研究成果の概要(英文)：In general greenhouses, when the windows are opened by temperature control during the winter season when the outside air is dry, the humidity deficit becomes more than $6\text{g}/\text{m}^3$ and the plant stomata close, adversely affecting plant growth. In this study, we developed the inside humidity deficit and temperature greenhouse numerical model using the system identification method from measured data set as 'control output: inside humidity deficit and inside air temperature', 'control input: window opening degree' and 'disturbance input: outside humidity deficit, outside temperature and inside illumination'. The model predictive control window opener using this model was shown to be able to maintain the air temperature in the greenhouse at the target value of 27°C , while controlling the inside humidity deficit within the upper limit of $6\text{g}/\text{m}^3$, approaching the target value of $4.5\text{g}/\text{m}^3$.

研究分野：制御工学

キーワード：ビニールハウス 飽差 気温 モデル予測制御 システム同定

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

多くのハウス農家が設置している気温制御型の自動窓開閉器において、冬季に、窓の開き過ぎによる飽差値の上昇から植物の気孔が閉じてしまうことが問題となっていた。水蒸気散布でこの急激な上昇を抑えることは難しく、ハウス内飽差の変化を予測する窓開閉制御システムが求められていた。しかし、予測に必要なハウス内飽差の数学モデルの研究は数が少なく、モデル予測制御などの研究も例がないため、未解決の問題となっていた。

2. 研究の目的

本研究では以下の2点の解明を目的とした。

システム同定法を用いたビニールハウス飽差気温数学モデルの作成条件と運用条件

上記モデルを用いたモデル予測制御の有効性

3. 研究の方法

高知県安芸郡芸西村のピーマン栽培が行われている100 m²程度の小型ハウスにおいて、ハウス内外に温湿度センサ、ハウス内に照度センサ、巻上げ式天窗のモータに角度センサを設置して、10月～5月の計測データから研究目的の を解明した。

・研究目的の の解明方法

[研究1] ボイラーが作動せず、日中の窓がほぼ全開になる秋期10～11月、春期4月の約1カ月間の計測データにおいて、「出力：ハウス内飽差(気温)」「入力：ハウス外飽差(気温)・ハウス内照度」と設定して、システム同定法(ARX・OEモデル)により伝達関数モデルを作成した。この時、モデル作成期間の日数(1日は6:00～6:00とした)を変更してモデルを作成し、モデル評価期間で性能を比較評価した。

[研究2] ボイラーが夜間に作動して、日中の窓が頻繁に開け閉めされる冬期12～1月の約1カ月間の計測データにおいて、「制御出力：ハウス内飽差・ハウス内気温」「制御入力：窓開度」「外乱入力：ハウス外飽差・ハウス外気温・ハウス内照度」と設定して、システム同定法(部分空間法)により状態空間モデルを作成した。この時、モデル作成期間において日中(8:00～16:00)と夜間(16:00～8:00)、晴れと雨曇りを区別してモデルを作成し、モデル評価期間で性能を比較評価した。

・研究目的の の解明方法

[研究3] まず、研究2の期間において、晴れだが「(A)ハウス内外の気温差が5・飽差値差が2g/m³の1日(2020年12月12日)」と「(B)同様に12・0 g/m³の1日(2020年12月15日)」のように環境条件が大きく異なる2日間のデータから、研究2と同様の設定で状態空間モデル(A)(B)を作成し、モデル予測制御器も(A)(B)より作成した。次に、(A)(B)のモデル予測制御器を(A)(B)のハウスモデルで相互にシミュレーション評価し、モデル化誤差が大きくなった場合でもモデル予測制御器が機能するか検証した。

4. 研究成果

[研究1] 図1に「飽差・気温モデルでのFit率とシステム同定日数との関係：春期(左図)と秋期(右図)」を示す。システム同定日数は5日間程度で十分であり、出力飽差(気温)を実測値と比較すると、春期には2週間程度までFit率80(80)%程度の高い精度を維持できるが、秋期にこのFit率を維持できるのは1週間程度までと分かった。モデルの入力変数が少ないため、設置センサ数を少なくでき、センサ設置後1週間以内でモデル作成ができることを示した。

[研究2] 図2に「モデル作成期間(左図)とモデル評価期間(右図)の各日8:00～16:00における飽差気温モデル出力のRMSE」を示す。No.1～38は2019年12月6日～1月12日を示している。モデル作成期間を選択することで、「夜間日中モデル」「日中モデル」「日中晴れモデル」「日中雨曇りモデル」の4モデルを作成し、各モデルを比較評価した結果、各モデルに対するFit率の平均は、飽差が45%以下、気温が65%以下と低かったが、RMSE(二乗平均平方根誤差)の平均値は、飽差が0.63 g/m³以下、気温が1.6 以下という精度になった。圃場で求められる測定精度としては飽差0.5 g/m³程度や気温0.5 程度以下であるが、モデル予測制御では、現在の実測値とモデル出力値との誤差を考慮しつつ、予測値を時々刻々と修正しつつ制御を行うことができるため、日中を通して飽差1 g/m³程度や気温1～2 程度の誤差の本モデルの精度は十分利用できることが示された。また、冬期のように飽差や気温の1日あたりの振れ幅が小さい場合には、システム同定で一般的に使用されているFit率よりも、RMSEで評価することが適切であることを示した。

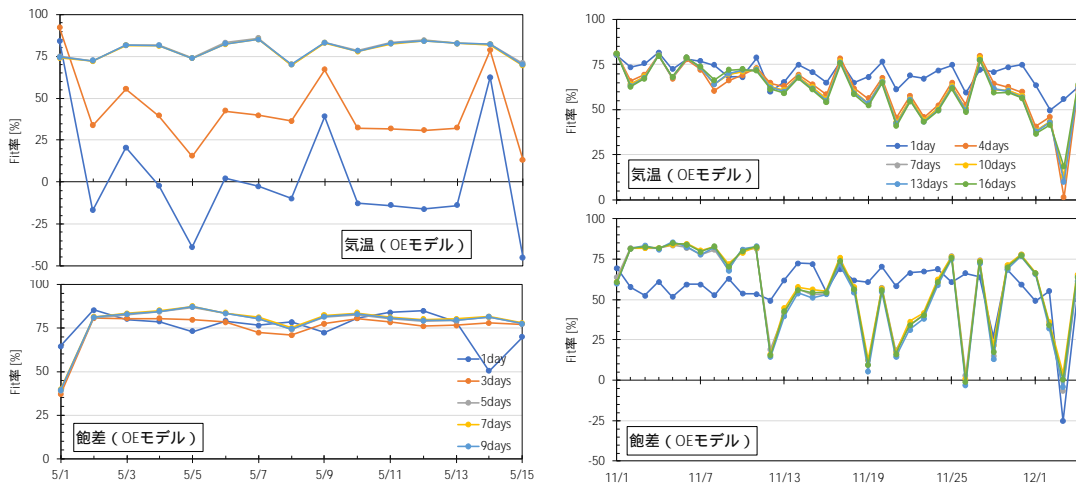


図1 飽差・気温モデルの Fit 率とシステム同定日数との関係：春期（左図）と秋期（右図）

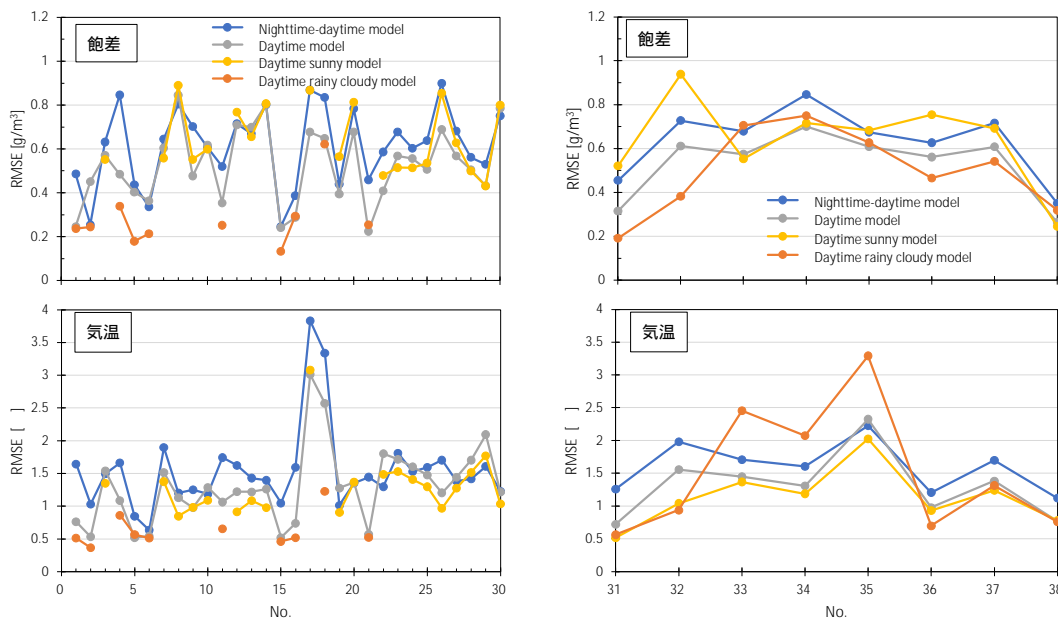


図2 モデル作成期間（左図）とモデル評価期間（右図）の各日 8:00～16:00 における飽差気温モデル出力の RMSE（青線：夜間日中モデル，灰線：日中モデル，黄線：日中晴れモデル，橙線：日中雨曇りモデル）

[研究3] 図3に「モデル予測制御シミュレーション結果：12月12日（左図）と12月15日（右図）」を示す．窓開度をモデル予測制御器で調整することで，ハウス内気温に関しては目標値 27 を追従できており，ハウス内飽差に関しては，設定した上限値 6 g/m^3 以下で目標値 4.5 g/m^3 に近づく制御ができることがわかる．また，上限値 6 g/m^3 を超える場合は目標気温 27 を超えても飽差値が上昇しない制御に切り替わっていることが分かる．さらに，(A)という日に作成したモデル予測制御器を，モデル化誤差が大きくなる(B)という日に適用したとしても，モデル予測制御の先読み効果により，制御性能はほとんど損なわれないことがわかる．これより，本手法によるモデル予測制御の有効性を示した．

他に以下の知見が得られた．

- ・冬期のハウス窓の効果は基本的に「閉めると飽差の急上昇は抑制できるが気温の上昇は抑えられない」「開けると気温を下げる事が出来るが飽差の急上昇を招く」というトレードオフの関係があるが，モデル予測制御ではこのトレードオフの最適解の開度になる．

- ・冬期ハウスでのモデル予測制御窓開閉器の設定は，気温誤差の感度を飽差誤差よりも高くして，飽差よりも気温の制御性を高める必要がある．その理由は，飽差は気温の上下に比例的に反応するため，気温の上昇を抑制することは飽差の上昇を抑制することにも繋がるからである．飽差誤差の感度を気温誤差よりも高くすると，制御器は窓を閉めることで飽差を下げようとするため，窓を閉めることで気温が上昇してしまい，気温に比例して飽差が上昇してしまうという相反効果が発生して気温も飽差も制御性が悪くなる場合がある．

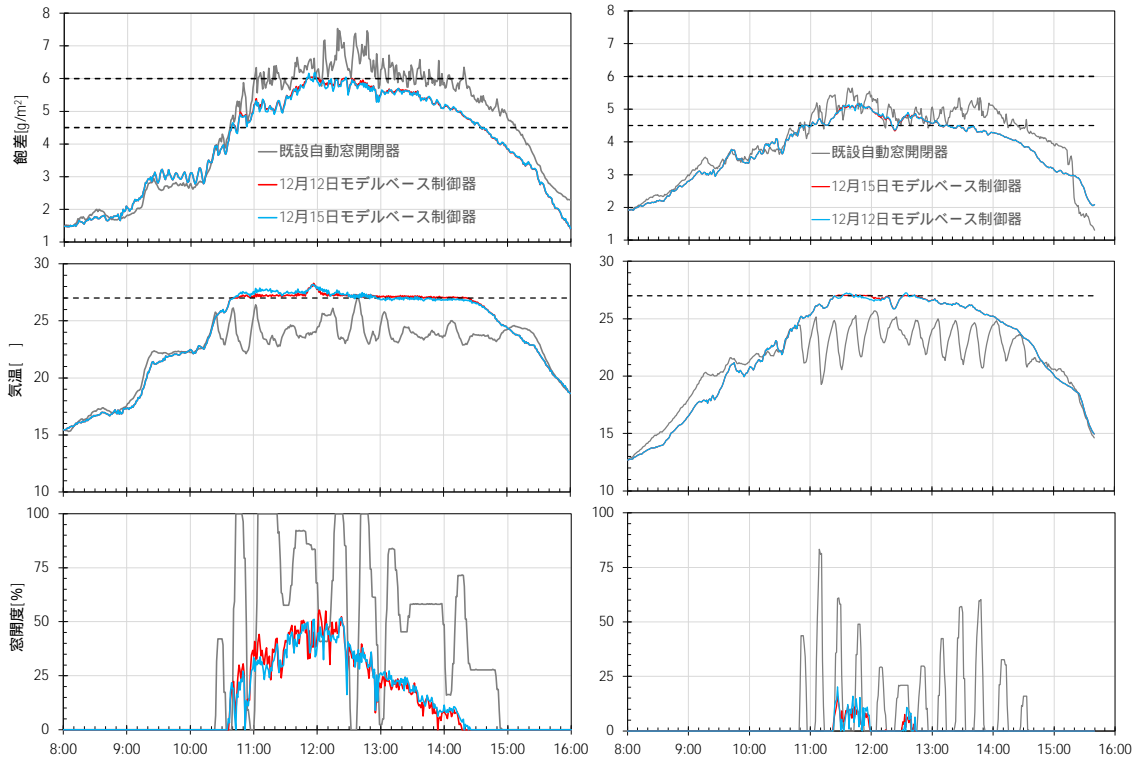


図3 モデル予測制御シミュレーション結果：12月12日（左図）と12月15日（右図）

<引用文献>

[研究1] 中山 信, 高田 拓, 木村 竜士, 岡 宏一, 2変数入力システム同定法によるビニールハウス内の気温・飽差モデル 春秋期におけるモデルの短期間構築と評価, 農業情報研究, 30巻, 2021, 1-12

[研究2] 中山 信, 宮岡 奨一郎, 木村 竜士, 大角 理人, 高田 拓, 窓開度を考慮した部分空間法によるビニールハウス内の飽差気温モデル: 冬期モデルの評価, 高知高専学術紀要, 68巻, 2023, 35-44

[研究3] 中山 信, 中脇 匠悟, 木村 竜士, 大角 理人, 高田 拓, モデル予測制御器を用いた窓開度によるビニールハウス内飽差気温制御: モデル化誤差の異なるモデルに対する検証, 高知高専学術紀要, 67巻, 2022, 25-34

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 中山 信, 宮岡奨一朗, 木村竜士, 大角理人, 高田 拓	4. 巻 68
2. 論文標題 窓開度を考慮した部分空間法によるビニールハウス内の飽差気温モデル: 冬期モデルの評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 高知高専学術紀要	6. 最初と最後の頁 35-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中山 信, 中脇匠悟, 木村竜士, 大角理人, 高田 拓	4. 巻 67
2. 論文標題 モデル予測制御器を用いた窓開度によるビニールハウス内飽差気温制御: モデル化誤差の異なるモデルに対する検証	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 高知高専学術紀要	6. 最初と最後の頁 25-34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中山 信, 高田 拓, 木村 竜士, 岡 宏一	4. 巻 30
2. 論文標題 2変数入力 of システム同定法によるビニールハウス内の気温・飽差モデル 春秋期におけるモデルの短期間構築と評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 農業情報研究	6. 最初と最後の頁 1~12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3173/air.30.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉川明希, 中山信, 木村竜士, 大角理人, 高田拓
2. 発表標題 中型ビニールハウスに対する環境制御を考慮した多点時系列分布の調査
3. 学会等名 第28回高専シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中脇 匠悟, 中山 信, 木村 竜士, 高田 拓, 松浦 史法, 山崎 容次郎
2. 発表標題 部分空間法によるハウス内環境制御モデルの設定回数とその妥当性
3. 学会等名 令和3年度 電気・電子・情報関係学会 四国支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂口稿成, 中山信, 木村竜士, 高田拓, 松浦史法, 山崎容次郎
2. 発表標題 通信型環境計測装置を用いたビニールハウス窓開閉飽差制御システムの開発
3. 学会等名 第26回 高専シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂口稿成, 中山信, 木村竜士, 高田拓
2. 発表標題 ビニールハウス内温度飽差のモデルベースド制御 窓開閉システムの開発
3. 学会等名 電気・電子・情報関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	木村 竜士 (Kimura Ryushi) (90571810)	高知工業高等専門学校・ソーシャルデザイン工学科・准教授 (56401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------