

不確実性を考慮した 対話型ファジィクリティカルパスによる 学習支援システムの開発

**Development of a Learning Support System Using
an Interactive Fuzzy-Critical Path Considering Uncertainty**

島崎 圭介 (Keisuke Shimazaki)
u120020@st.pu-toyama.ac.jp

富山県立大学 工学部 情報システム工学科 情報基盤工学講座

11:40-11:55, Monday, February 10, 2025

1. はじめに

2 教材の提供と科目推薦

3 学習進度のための日程計画

4 提案手法

5 数値実験並びに考察

6 終わりに

1.1 研究の背景

2/29

- 現在，人口減少により働き手の減少が深刻化している．
- 学力格差は個々の学生や学校の教育水準に差が生じる現象であり，複数の原因が影響する．
- 社会に与える影響も大きく，不平等や経済的格差などの問題が浮き彫りにされる．

1. はじめに

2 教材の提供と科目推薦

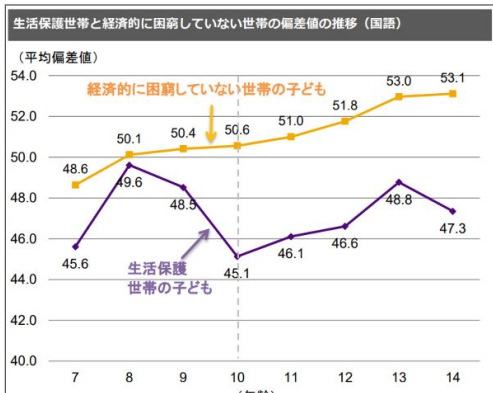
3 学習進度のための日程計画

4 提案手法

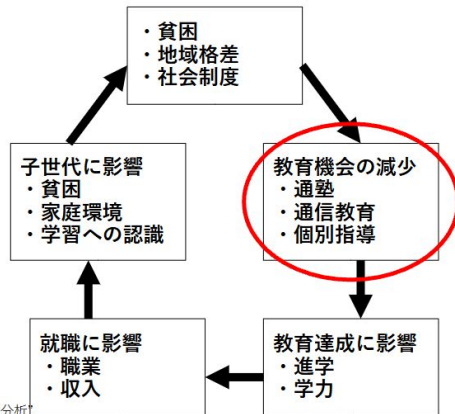
5 数値実験並びに考察

6 終わりに

1. はじめに
- 2 教材の提供と科目推薦
- 3 学習進度のための日程計画
- 4 提案手法
- 5 数値実験並びに考察
- 6 終わりに



公益財団法人 日本財団, “家庭の経済格差と子どもの認知・非認知能力格差の関係分析”
https://www.nippon-foundation.or.jp/app/uploads/2019/01/wha_pro_end_06.pdf, 閲覧日2024.2.8



1.2 研究の目的

4/29

- 小中高生に向けた，自主学習のスケジュールの作成を行い，各单元における教材を提供することで学習を支援するシステムの開発.
- 学習者の理解と学習範囲における優先すべき単元の強調を含む単元の系統性を表すグラフの作成.

1. はじめに

2 教材の提供と科目推薦

3 学習進度のための日程計画

4 提案手法

5 数値実験並びに考察

6 終わりに

1. はじめに

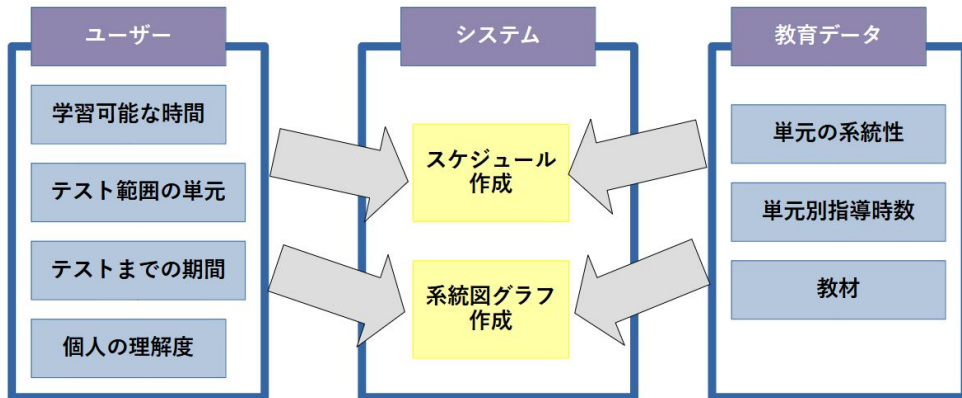
2 教材の提供と科目推薦

3 学習進度のための日程計画

4 提案手法

5 数値実験並びに考察

6 終わりに



2.1 e ラーニング教材と自発的能動学修の涵養

6/29

- GIGA スクール構想によって、子供1人に1台のタブレット端末が与えられており、全員が平等にE ラーニングを受けられる時代になっている。
- 急激な時代の変化に適応するために知識を自ら学ぶ力が必要になり、学習習慣の重要性は高まる。

1. はじめに

2 教材の提供と科目推薦

3 学習進度のための日程計画

4 提案手法

5 数値実験並びに考察

6 終わりに

GIGAスクール構想

ICT環境の整備

- 高速大容量の校内ネットワーク
- 児童・生徒1人に1台の端末
- 効率的、効果的な調達を支援

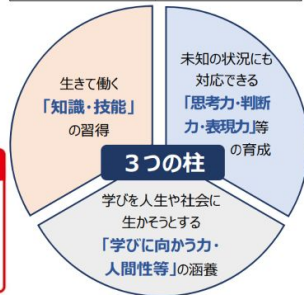
ソフトの充実

- 学習者用デジタル教科書／教材の活用促進
- ICTを活用した学習活動例の提示
- AIドリルなどの技術実証

指導体制の強化

- 各地域の指導者養成
- ICT活用教育アドバイザーによるワークショップの開催
- ICT支援員など外部人材の活用

新課程で求められるもの



教育とICT Online, “【最新ICT解説】今さら聞けない「GIGAスクール構想」とは”,
<https://project.nikkeibp.co.jp/pc/atcl/19/06/21/00003/041700215/>, 閲覧日2024.2.8

河合塾, “新課程入試のポイント”,
<https://www.keinet.ne.jp/exam/2025/point/>, 閲覧日2024.2.8

1. はじめに

2 教材の提供と科目推薦

3 学習進度のための日程計画

4 提案手法

5 数値実験並びに考察

6 終わりに

2.2 教材管理と学習進度管理の手法

8/29

- 算数などの積み上げ型教科の単元は積み重ねが重要であり、基礎を完璧に理解しなければ次の単元に影響が出てしまう.
- 現在わからない単元があるときには単元の類似性、系統性から遡って理解が足りていない場所を特定し、原因を見つけることができる. これを遡り学習とよぶ.

1. はじめに

2 教材の提供と科目推薦

3 学習進度のための日程計画

4 提案手法

5 数値実験並びに考察

6 終わりに

1. はじめに

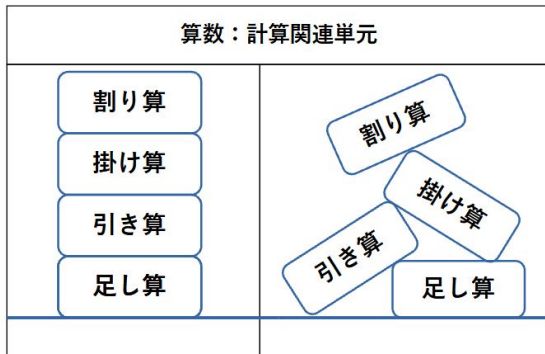
2 教材の提供と科目推薦

3 学習進度のための日程計画

4 提案手法

5 数値実験並びに考察

6 終わりに



✗ 割り算

今理解できない
単元

✗ 掛け算

前単元も理解で
きていない

✗ 引き算

理解を妨げる
原因となる単元

○ 足し算

理解できている
単元

2.3 内容系統を考慮した学習管理システムの提案

10/29

- 現在の教育現場では、系統学習を主軸とした年間指導計画を立て、各単元に時数を割り当てている.
- 教科書会社や塾が出している学習系統図は単元の系統性を示し、遡り学習の際にも使用される.

1. はじめに

2 教材の提供と科目推薦

3 学習進度のための日程計画

4 提案手法

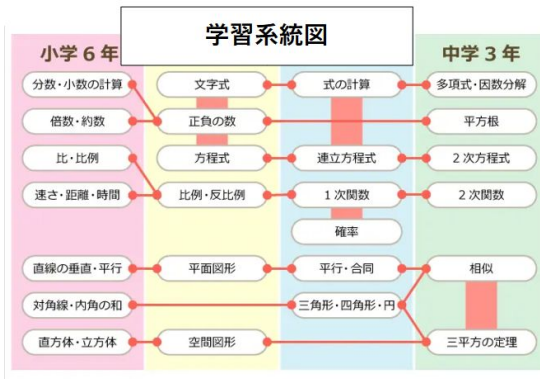
5 数値実験並びに考察

6 終わりに

1. はじめに
- 2 教材の提供と科目推薦
- 3 学習進度のための日程計画
- 4 提案手法
- 5 数値実験並びに考察
- 6 終わりに

年間指導計画					
2学期制	1学期制	回数	科目	題材名	頁
前期 (26時間)	1学期 (20時間)	2	オ	ためす 見つける	5
		2	絵	かいて見つけるわたしのすきなもの	6-7
		2	絵	絵のぐ+水+ふで=いいかんじ!	10-11
		4	工	うごいて楽しいわりピンワールド	12-13
		2	造	ここがすみか	32-33
		4	絵	ことばから思いうかべて	38-39
		2	立	ねん土マイタウン	50-51
		4	絵	立ち上がった絵のせかい	16-17
	2	鑑	選択 土をかんじて	25-26	
	2	鑑	選択 お気に入りの葉	27-28	
	4	絵	あの日あの時の気持ち	20-21	

日本文教出版,
“学び!と美術”, <https://www.nichibun-g.co.jp/data/web-magazine/manabito/art/art133/>, 閲覧日2024.2.8



家庭教師のあすなろ, “苦手教科克服法”,
<https://www.seisekiup.net/course/junior/weakness/>, 閲覧日2024.2.8

3.1 クリティカルパスによる日程計画

12/29

- スケジュールを構築する際にはどの単元を優先して行うかを考えることで、学習範囲の見逃しが無い安定した学習を行える。
- 単元の系統性をネットワーク図に当てはめることで Critical Path Method(CPM) を利用できる。

1. はじめに

2 教材の提供と科目推薦

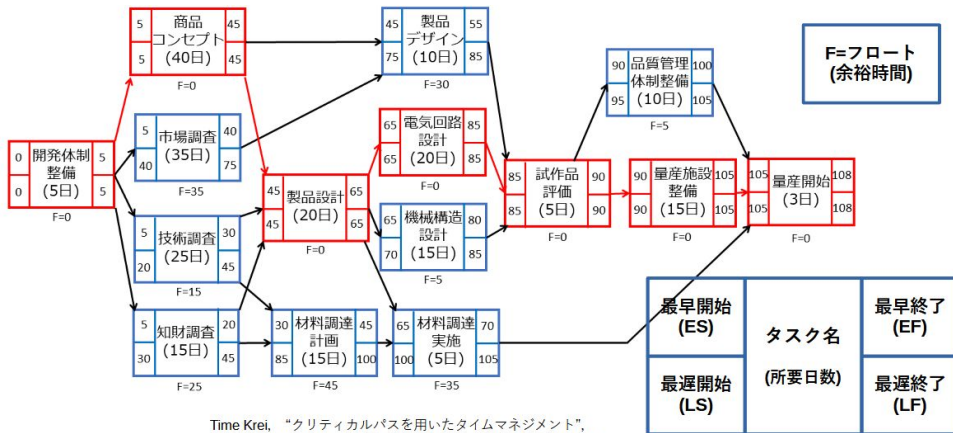
3 学習進度のための日程計画

4 提案手法

5 数値実験並びに考察

6 終わりに

1. はじめに
- 2 教材の提供と科目推薦
- 3 学習進度のための日程計画
- 4 提案手法
- 5 数値実験並びに考察
- 6 終わりに



Time Krei, “クリティカルパスを用いたタイムマネジメント”,
https://timekrei.tenda.co.jp/column/critical_path/, 閲覧日2024.2.8

3.2 クリティカルパスの解法

14/29

■ 線形計画問題

■ 1. 依存関係

$$S_j \geq S_i + D_i(i, j) \quad \forall (i, j) \in E \quad (1)$$

となり、 S は各タスクの所要時間、 E はタスクの依存関係を表すエッジの集合である。

■ 2. プロジェクト完了時間

$$P \geq S_i + D_i \quad \forall i \in V \quad (2)$$

となり V はすべてのタスクの集合とする。

■ 3. 目的関数 (最小化)

$$\min P \quad (3)$$

プロジェクト全体の完了時間を最小化するものである。

■ ES, EF

$$EF_i = ES_i + D_i \quad (4)$$

EF を最小とする式である。

1. はじめに

2 教材の提供と科目推薦

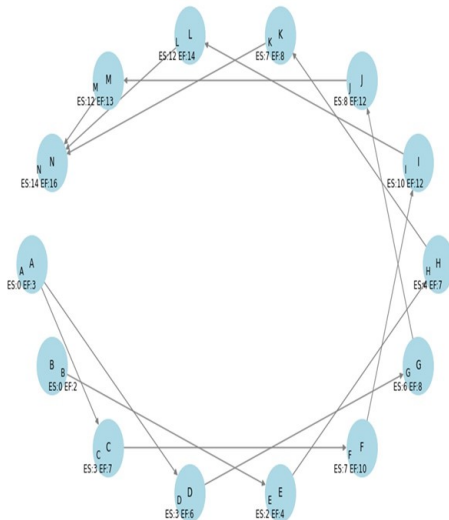
3 学習進度のための日程計画

4 提案手法

5 数値実験並びに考察

6 終わりに

1. はじめに
- 2 教材の提供と科目推薦
- 3 学習進度のための日程計画
- 4 提案手法
- 5 数値実験並びに考察
- 6 終わりに



Task	ES	EF	LP Start Time
A		0	3
B		0	2
C		3	7
D		3	6
E		2	4
F		7	10
G		6	8
H		4	7
I		10	12
J		8	12
K		7	8
L		12	14
M		12	13
N		14	16
Project Duration (ES/EF) : 16.0			
Project Duration (LP) : 16.0			

3.3 学習計画のためのクリティカルパスの活用

16/29

- すでに学習して習得した単元を抜かしてスケジュールを作成する.
- 各單元ごとにかかる日数を設定し、ユーザーが選んで貰った勉強時間にどう割り振って効率よく勉強してもらえるかを考えた.

1. はじめに

2 教材の提供と科目推薦

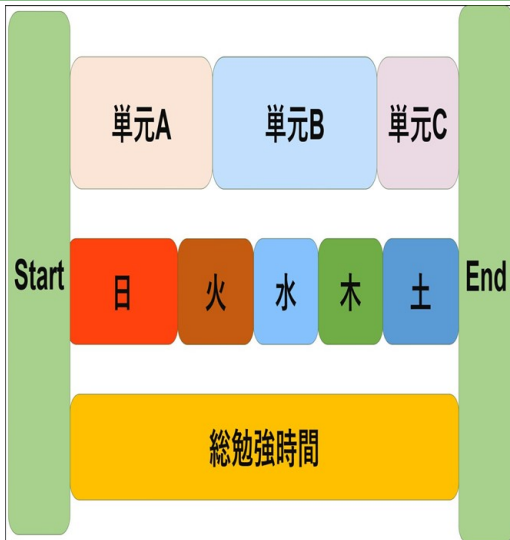
3 学習進度のための日程計画

4 提案手法

5 数値実験並びに考察

6 終わりに

1. はじめに
- 2 教材の提供と科目推薦
- 3 学習進度のための日程計画
- 4 提案手法
- 5 数値実験並びに考察
- 6 終わりに



DESCR	COD E	PREDEC ESSORS	SUCCESS ORS	DA YS	ES	EF	LS	LF	SLAC K	CRITI CAL
Start	0		['5', '4']	0	0	0	0	0	0	YES
いくつといくつ	4	['0']	['8']	7	0	7	14	21	14	NO
ぜんぶでいくつ	5	['0']	['6']	10	0	10	0	10	0	YES
のこりはいくつ	6	['5']	['7']	8	10	18	10	18	0	YES
どれだけおおい	7	['6']	['8']	3	18	21	18	21	0	YES
10よりおおいかず	8	['4', '7']	['999']	10	21	31	21	31	0	YES
End	999	['8']		0	31	31	31	31	0	YES

4.1 学習管理システムへのファジィの導入

18/29

- ファジィ変数を導入することによって不確実性を考慮した CPM を解くことができる.
- 今回は α -cut を行った. α -cut とは, ファジィ集合をより明確なクリスプ集合として扱えるようになる手法である.
- この手法を使うことによって学習履歴に対してファジィ数を使うことができる.

1. はじめに

2 教材の提供と科目推薦

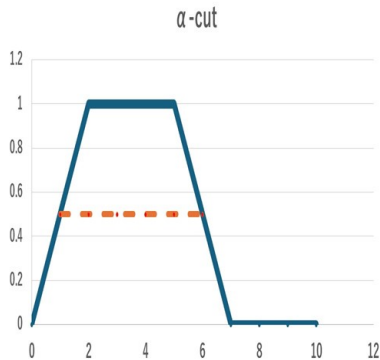
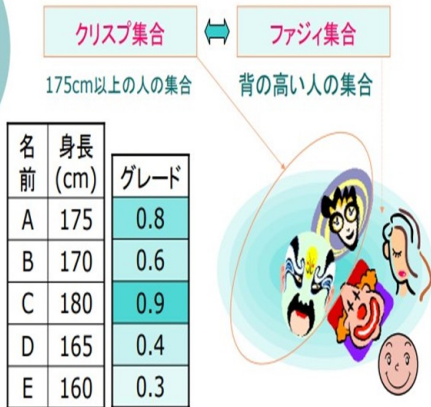
3 学習進度のための日程計画

4 提案手法

5 数値実験並びに考察

6 終わりに

1. はじめに
- 2 教材の提供と科目推薦
- 3 学習進捗のための日程計画
- 4 提案手法
- 5 数値実験並びに考察
- 6 終わりに



北海道大学オープンコースウェア, “ファジィ推論”, <https://ocw.hokudai.ac.jp/wp-content/uploads/2016/01/IntelligentInformationProcessing-2005-Note-09.pdf>, 閲覧日 2025,2.2

4.2 ファジィクリティカルパスによる解法

20/29

- 今回使用するファジィ CPM では、LP と ES, EF, LS, LF を用いた手法の解が同じであることを示した.
- ファジィ変数を用いなかった場合の答えは同じになることがわかったが、ファジィ変数を導入した際に答えが変わる可能性があった.
- 結果として、2つの手法の解を比較した際、同じ結果となった.

1. はじめに

2 教材の提供と科目推薦

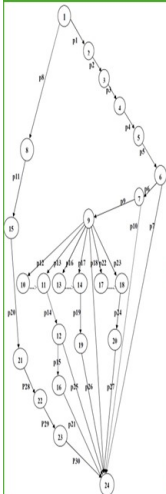
3 学習進度のための日程計画

4 提案手法

5 数値実験並びに考察

6 終わりに

パスの設定とパスの内容



項目	内容	優先事項	下辺*	上辺*	左辺*	右辺*
P1	基礎工事	-	28	30	3	5
P2	断熱工事	P1	4	4	1	1
...
P29	試運転	P28	2	2	1	1
P30	作業	P29	7	7	2	2

$$D = \max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{ij} x_{ij}$$

$$\text{s.t.} \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1,$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{k=1}^n x_{ki}, i = 2, \dots, n-1$$

$$\sum_{k=1}^n x_{kn} = 1,$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1, (i, j) \in A.$$

*はファジィ操作時間
 D_{α}^L は α -カットのメンバーシップ関数の下限
 $(T_{ij})_{\alpha}^L$ はメンバーシップ関数の下限における値
 y_n は制約条件における変数
 A はインデックス (i, j) の集合

$$D_{\alpha}^L = \min y_n - y_1$$

$$\text{s.t.} y_j \geq y_i + (T_{ij})_{\alpha}^L, (i, j) \in A,$$

$$y_i, y_j \pm \forall (i, j) \in A.$$

実行結果

α	経路	最小時間(days)	最大時間(days)
$\alpha=0.0$, Path:	['P1', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P9', 'P12', 'P14', 'P15', 'P21'],	150.0,	165
$\alpha=0.0$, Path:	['P1', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P9', 'P12', 'P14', 'P25'],	129.0,	142
$\alpha=0.1$, Path:	['P1', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P9', 'P13', 'P14', 'P25'],	121.9,	143.9
$\alpha=0.2$, Path:	['P1', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P9', 'P17', 'P19', 'P26', 'P27'],	125.5,	153.2
$\alpha=0.3$, Path:	['P1', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P9', 'P23', 'P24', 'P27'],	117.7,	149.7
$\alpha=0.4$, Path:	['P1', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P10'],	103.1,	135
$\alpha=0.5$, Path:	['P1', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P9', 'P18'],	114.0,	156
.			
.			
.			
$\alpha=1.0$, Path:	['P1', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P9', 'P18'],	101.0,	170
.			
.			
.			
α	経路	最小時間(days)	最大時間(days)
$\alpha=0.0$, Path:	['P1', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P9', 'P12', 'P14', 'P15', 'P21'],	150.0,	165
$\alpha=0.0$, Path:	['P1', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P9', 'P12', 'P14', 'P25'],	129.0,	142
$\alpha=0.1$, Path:	['P1', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P9', 'P13', 'P14', 'P25'],	121.9,	143.9
$\alpha=0.2$, Path:	['P1', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P9', 'P17', 'P19', 'P26', 'P27'],	125.5,	153.2
$\alpha=0.3$, Path:	['P1', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P9', 'P23', 'P24', 'P27'],	117.7,	149.7
$\alpha=0.4$, Path:	['P1', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P10'],	103.1,	135
$\alpha=0.5$, Path:	['P1', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P9', 'P18'],	114.0,	156
.			
.			
.			
$\alpha=1.0$, Path:	['P1', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P9', 'P18'],	101.0,	170

4.3 対話型システム

22/29

- 対話型には、対話型 AI や、対話型シェルなど様々なものがある．今回は、対話型シェルを使用した．
- 今回の手法では、0～1 の 0.1 刻みで α -cut を行っただけで合計 10 個の CPM の解が出てくる．
- 10 個の答えから 3 つを選び、その選ばれたスケジュールと、そのスケジュールの圧迫具合を提示してユーザーに選んでもらうシステムとした．

1. はじめに

2 教材の提供と科目推薦

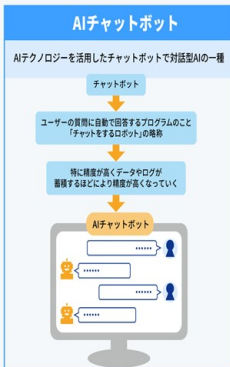
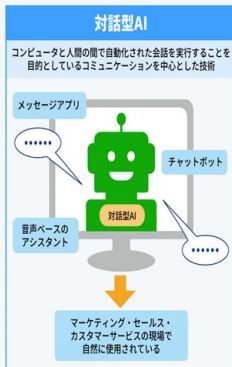
3 学習進度のための日程計画

4 提案手法

5 数値実験並びに考察

6 終わりに

対話型AIとは



1. 0.6363636363636364
2. 1.1
3. 1.1818181818181819
数値が高い方が楽になります。

Day	Date	Day of Week	Unit	Study Hours	Description
0	1	2025/2/4	Tue	0	0.000000 Start
1	1	2025/2/4	Tue	1	1.181818 いいてんき
2	1	2025/2/4	Wed	2	1.181818 おはなしたのしいな
3	2	2025/2/5	Wed	2	0.636364 おはなしたのしいな
4	2	2025/2/5	Wed	3	0.909091 あつまってはなそう
5	2	2025/2/5	Wed	4	0.909091 えんぴつとなかよし
6	2	2025/2/6	Thu	5	0.545455 どうぞよろしく
7	3	2025/2/6	Thu	5	2.000000 どうぞよろしく
8	4	2025/2/6	Thu	5	0.181818 どうぞよろしく
9	4	2025/2/7	Fri	6	1.181818 なんていうかな
10	4	2025/2/7	Fri	999	0.000000 End

Day	Date	Day of Week	Unit	Study Hours	Description
0	1	2025/2/4	Tue	0	0.000000 Start
1	1	2025/2/4	Tue	1	1.181818 いいてんき
2	1	2025/2/4	Tue	2	1.181818 おはなしたのしいな
3	2	2025/2/5	Wed	2	0.636364 おはなしたのしいな
4	2	2025/2/5	Wed	3	0.909091 あつまってはなそう
5	2	2025/2/6	Thu	4	0.909091 えんぴつとなかよし
6	2	2025/2/6	Thu	5	0.545455 どうぞよろしく
7	3	2025/2/6	Thu	5	2.000000 どうぞよろしく
8	4	2025/2/7	Fri	5	0.181818 どうぞよろしく
9	4	2025/2/7	Fri	6	1.181818 なんていうかな
10	4	2025/2/7	Fri	999	0.000000 End

Day	Date	Day of Week	Unit	Study Hours	Description
0	1	2025-02-04	Tue	0	0.000000 Start
1	1	2025-02-04	Tue	1	1.181818 いい てんき
2	1	2025-02-04	Tue	2	1.181818 おはなし たのしいな
3	2	2025-02-05	Wed	2	0.636364 おはなし たのしいな
4	2	2025-02-05	Wed	3	0.909091 あつまってはなそう
5	2	2025-02-05	Wed	4	0.909091 えんぴつと なかよし
6	2	2025-02-05	Wed	5	0.545455 どうぞ よろしく
7	3	2025-02-06	Thu	5	2.000000 どうぞ よろしく
8	4	2025-02-07	Fri	5	0.181818 どうぞ よろしく
9	4	2025-02-07	Fri	6	1.181818 なんて いうかな
10	4	2025-02-07	Fri	999	0.000000 End

1. はじめに

2 教材の提供と科目推薦

3 学習進度のための日程計画

4 提案手法

5 数値実験並びに考察

6 終わりに

5.1 実験の概要

24/29

動画でシステムの全体を示す.

1. はじめに
- 2 教材の提供と科目推薦
- 3 学習進度のための日程計画
- 4 提案手法
- 5 数値実験並びに考察**
- 6 終わりに

5.1 実験の概要

25/29

- 1. はじめに
- 2 教材の提供と科目推薦
- 3 学習進度のための日程計画
- 4 提案手法
- 5 数値実験並びに考察**
- 6 終わりに

- システムの有用性として、5段階のリッカート尺度のアンケートの実施を行った.
- 研究室の B3 3名, B4 5名, M1 1名, に実際にシステムを使用し, アンケートに回答してもらった.

Table 1: システムの評価基準

Q1	システムの操作性はわかりやすいか
Q2	システムの機能は理解しやすいか
Q3	レイアウトは親切か
Q4	デザインは見やすいか
Q5	利用にストレスを感じたか
Q6	対話型は便利か
Q7	自分通りのスケジュールになったか
Q8	対話型によって好きなスケジュールを選べたか
Q9	学習の効率が上がるか
Q10	学習のモチベーションが上がるか

5.2 実験結果と考察

27/29

- 合計すると、肯定的な評価が 52 件、否定的な評価が 20 件となり、システムとして機能しているといえる.
- 一方で、Q4 と Q8 に対して、否定的な評価が目立つ結果となり、改善の必要がある.
- Q4 では、対話型でのシステムがコマンドプロンプトなのでデザインとして見やすくないといった意見が寄せられ、Q8 では 3 通りの選択肢が少ないといった意見が寄せられた.

1. はじめに

2 教材の提供と科目推薦

3 学習進度のための日程計画

4 提案手法

5 数値実験並びに考察

6 終わりに

Table 2: アンケート結果

質問内容	とてもそう思う	そう思う	どちらでもない	そう思わない	とてもそう思わない
Q1	1	4	3	1	0
Q2	2	6	1	0	0
Q3	3	2	2	1	1
Q4	4	4	1	0	0
Q5	2	4	0	2	1
Q6	3	3	0	2	1
Q7	2	2	5	0	0
Q8	2	2	2	2	1
Q9	0	4	4	1	0
Q10	5	0	0	3	1

まとめ

本研究では.

- 小中高生に向けた、不確実性を考慮した自主学習のスケジュールの作成を行い、各単位における教材を提供することができる学習支援システムの開発を行った.
- 各ユーザーにあったスケジュールを選択することのできる対話型システムによるスケジュール作成を行った.

この2つを行い、一つのシステム内で完結させた.

実際に使用してもらい、アンケート調査でシステムの有用性を示した.

今後の課題

- システムの流れが UI のみで完結しておらず、本来対象とするユーザーには分かりづらいところがある.
- アンケートのコメントで見られたが、対話型の部分のシステムがコマンドプロンプトなので、デザインとして見にくいという意見があったので改善していかなければならない.