

他ユーザの転送レートへの影響を考慮した 画質レート制御関数の提案

芝浦工業大学 菊地 悠李



研究の背景と目的

インターネットトラフィックの増加

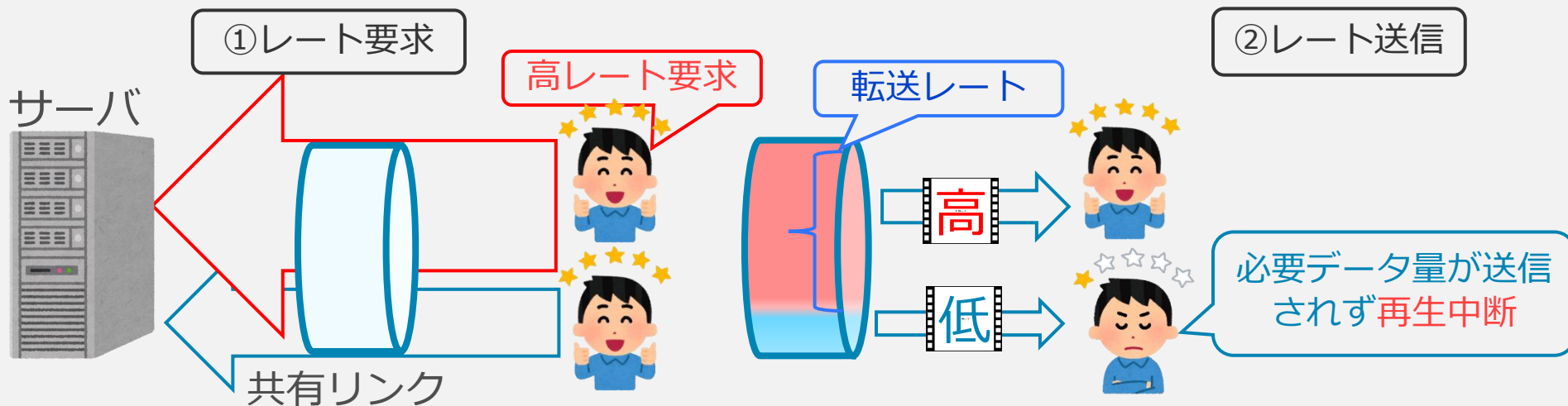


リンクの帯域幅がボトルネック

複数ユーザが同じリンクを共有



ユーザのレート要求が相互影響し動画の再生中断へ



目的：他ユーザの転送レートへの影響を考慮した
レート制御の実現



これまでの研究

- ユーザ個人ごとに制御
 - 帯域幅推定に基づく制御手法
 - [T. C. Thang+, *IEEE Trans Consum Electron*, 2012]
 - QoE最大化を目的としたビットレート選択手法
 - [Y. Xu+, *IEEE Trans Mobile Comput*, 2014]













- 複数ユーザを同時に考慮する手法
 - ゲーム理論を用いた手法
 - [H. Yuan+, *IEEE Trans Mob Comput*, 2018]



ゲーム理論を用いた手法

- ゲーム理論は複数ユーザの相互依存関係を解析

帯域幅 : 4 Mbps

 ユーザ 1	ユーザ 2 	
	1 Mbps	3 Mbps
1 Mbps	利得  : 1.2  : 1.2	利得  : 0.6  : 1.1
3 Mbps	利得  : 1.1  : 0.6	利得  : -0.3  : -0.3

複数のユーザ要求と共有リンクを考慮した利得関数 f_i

最適レート $r_i^* \in \mathcal{R}_i$ を決定



ゲーム理論を用いた手法

既存研究の利得関数

[T. Yanagisawa +, ICOIN Conf, 2022]

$$f_i(r_i, \mathbb{r}_{-i}) = \underbrace{t_i \cdot f_{\text{quality}}(r_i)}_{\textcircled{1}} + \mu \cdot \underbrace{f_{\text{buffer}}(\mathbb{r})}_{\textcircled{2}} + \gamma_i \cdot \underbrace{f_{\text{stability}}(r_i)}_{\textcircled{3}}$$

- ① : 動画の画質品質による嬉しさ
- ② : 各ユーザの推定バッファ量
- ③ : レート変動を抑える項

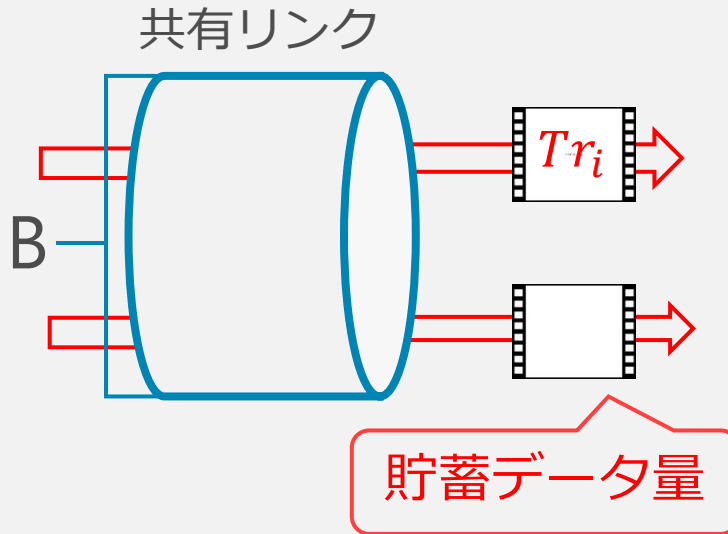
- ① : レートに対する嬉しさの単調増加関数
- ③ : 前のレートから大きく変動させない調整関数

② : 主なレート制御関数

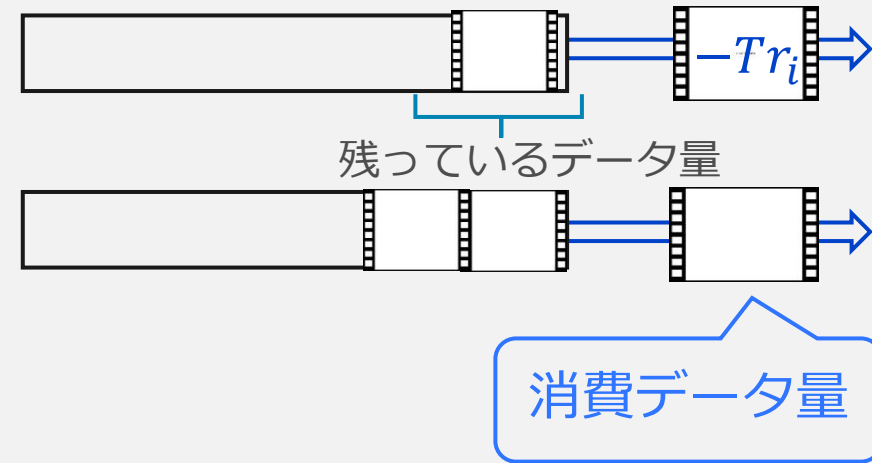


ゲーム理論を用いた手法

サーバ



バッファ



既存研究の利得関数②項

バッファの変動量： $f_{\text{buffer}}(r_i, \mathbb{r}_{-i}) = \textcolor{red}{Tr}_i - \textcolor{blue}{Tr}_i \left(\frac{\sum_{j=1}^N r_j}{B} \right)$

バッファにおける：貯蓄データ量 - 消費データ量



ゲーム理論を用いた手法

①レート要求

②レート送信

サーバ

高レート
要求

ペナルティ：3

低レート要求

高レートの人と
同じペナルティ

ペナルティ：3

ペナルティ

既存研究の利得関数②項

バッファの変動量： $f_{\text{buffer}}(r_i, r_{-i}) = Tr_i - Tr_i \left(\frac{\sum_{j=1}^N r_j}{B} \right)$

既存研究のペナルティは全ユーザ同じ値



既存研究の問題点

– ゲーム理論を用いた手法

- [H. Yuan+, *IEEE Trans Mob Comput*, 2018]

– ユーザの好みを考慮した**ゲーム理論**を用いた手法

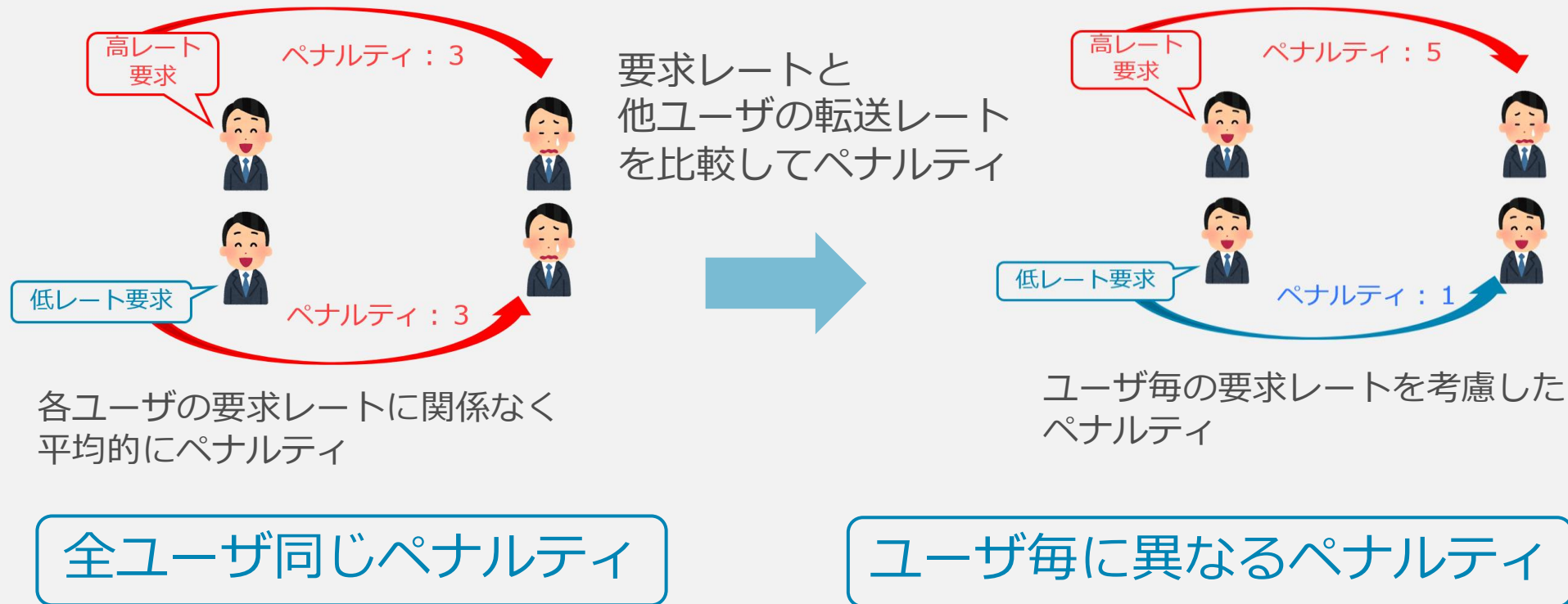
- [T. Yanagisawa +, *ICOIN Conf*, 2022]

問題点：全ユーザ同じペナルティ



キーアイデア

- ユーザ毎にペナルティを与える



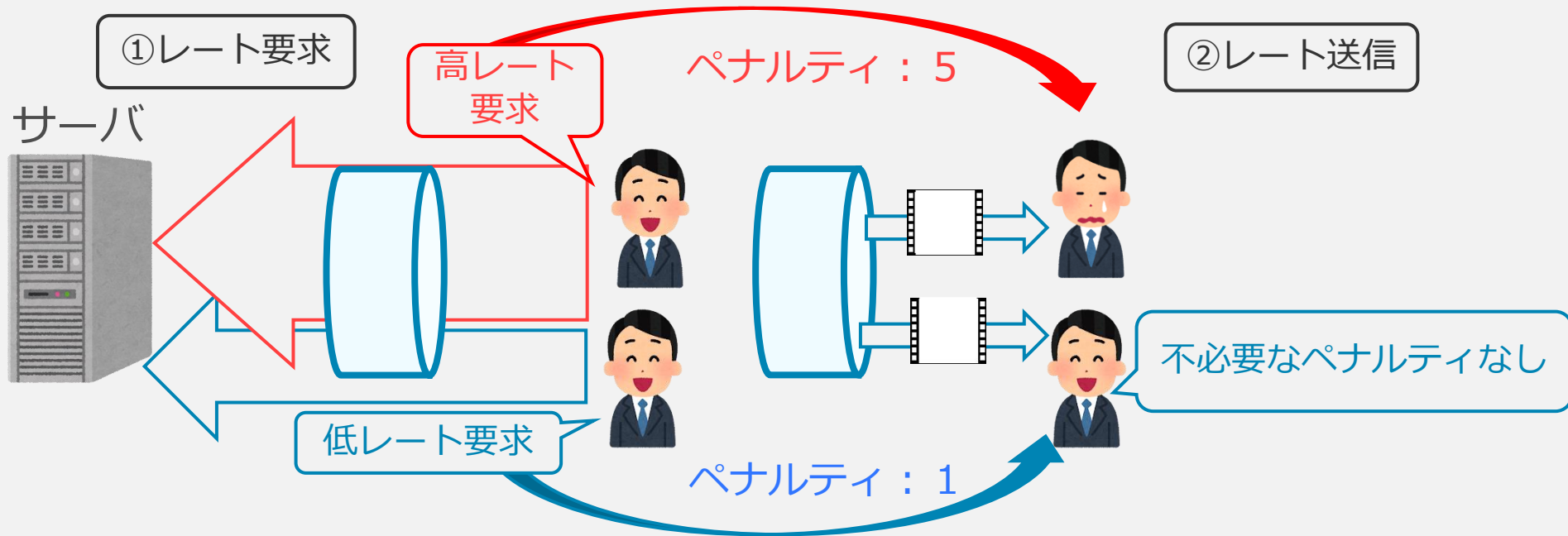
他ユーザの転送レートへの影響度を考慮したペナルティ



提案手法-想定システム

- リンクの帯域幅が逼迫、複数ユーザがリンク共有

→ 動画の再生中断が起きる



利己的なユーザにのみペナルティを与える制御



処理の流れ

セグメント(数秒)単位

各ユーザがサーバに
レートを選択要求

利得関数 f_i でそのセグメントの
最適レートを導出

利得関数の
改善

決定したレートのデータを
ユーザに送信



利得関数 f_i の比較

既存利得関数

$$f_{\text{buffer}}(r_i) = Tr_i - Tr_i \left(\frac{\sum_{j=1}^N r_j}{B} \right)$$

平均的なペナルティ
全ユーザ同じ値



提案利得関数

$$f_i(r_i, \mathbb{r}_{-i}) = Tr_i - Tr_i \left(\frac{r_i}{B \left(1 - \frac{r_i}{\sum_{j=1}^N r_j} \right)} \right)$$

ユーザ i の要求レートと
他ユーザの転送レートを比較

提案手法のペナルティはユーザ毎に異なる



提案手法-変数の説明

提案利得関数

$$f_i(r_i, \mathbb{r}_{-i}) = Tr_i - Tr_i \left(\frac{r_i}{B \left(1 - \frac{r_i}{\sum_{j=1}^N r_j} \right)} \right)$$

T : セグメント長(s) (セグメント: 動画を数秒単位に分割したもの)

r_i : ユーザ i の 要求ビデオビットレート

\mathbb{r}_{-i} : ユーザ i 以外の要求ビデオビットレート

B : 共有リンクの帯域幅

N : ユーザ総数

$\sum_{j=1}^N r_j$: 全ユーザの合計要求ビデオビットレート

$B \frac{r_i}{\sum_{j=1}^N r_j}$: ユーザの要求から比率で求めたユーザ i の転送レート



数値計算の概要

条件

全帯域	B	4 Mbps
ユーザ数	N	2人
選択可能画質レート r_i		(1,2,3,4,5,6)Mbps
セグメント長	T	1s

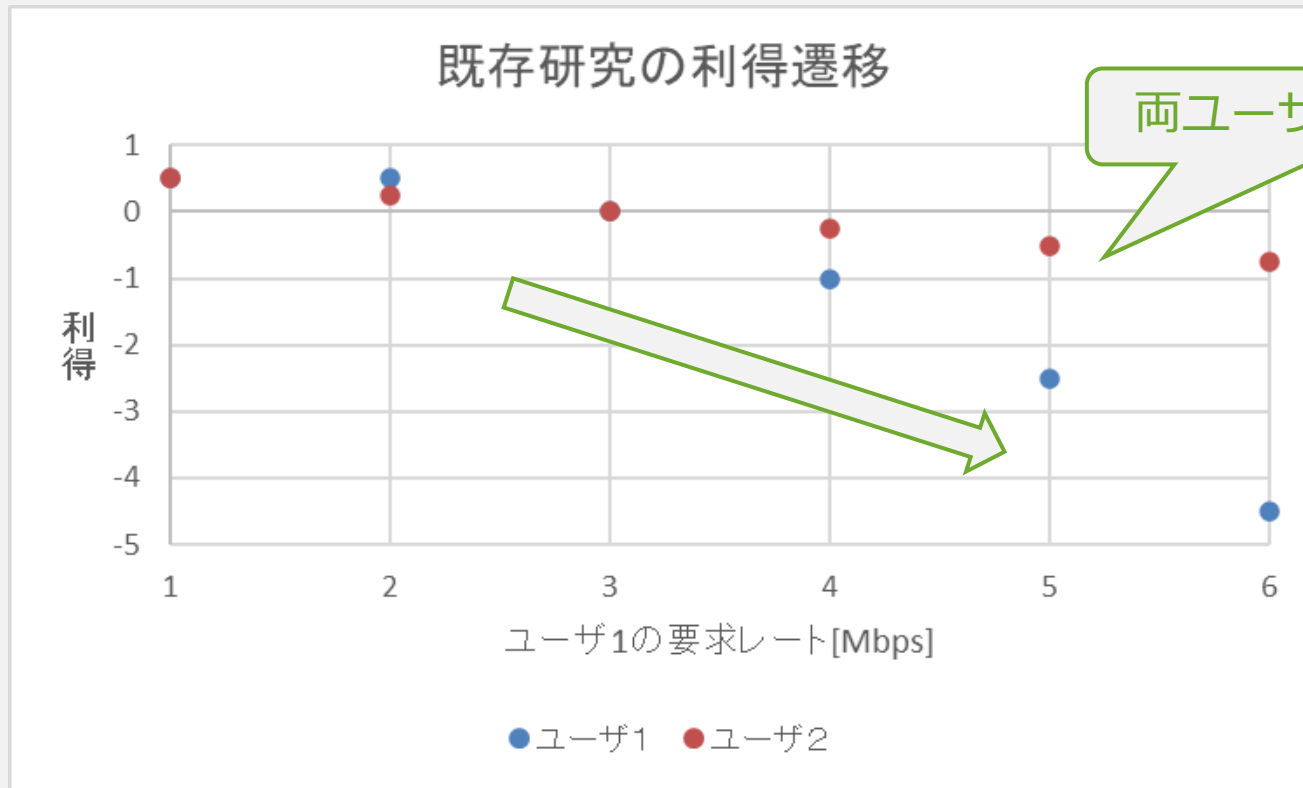
- ユーザ1の要求レートを変更
- ユーザ2の要求レートを1Mbps固定



各ユーザの利得を比較



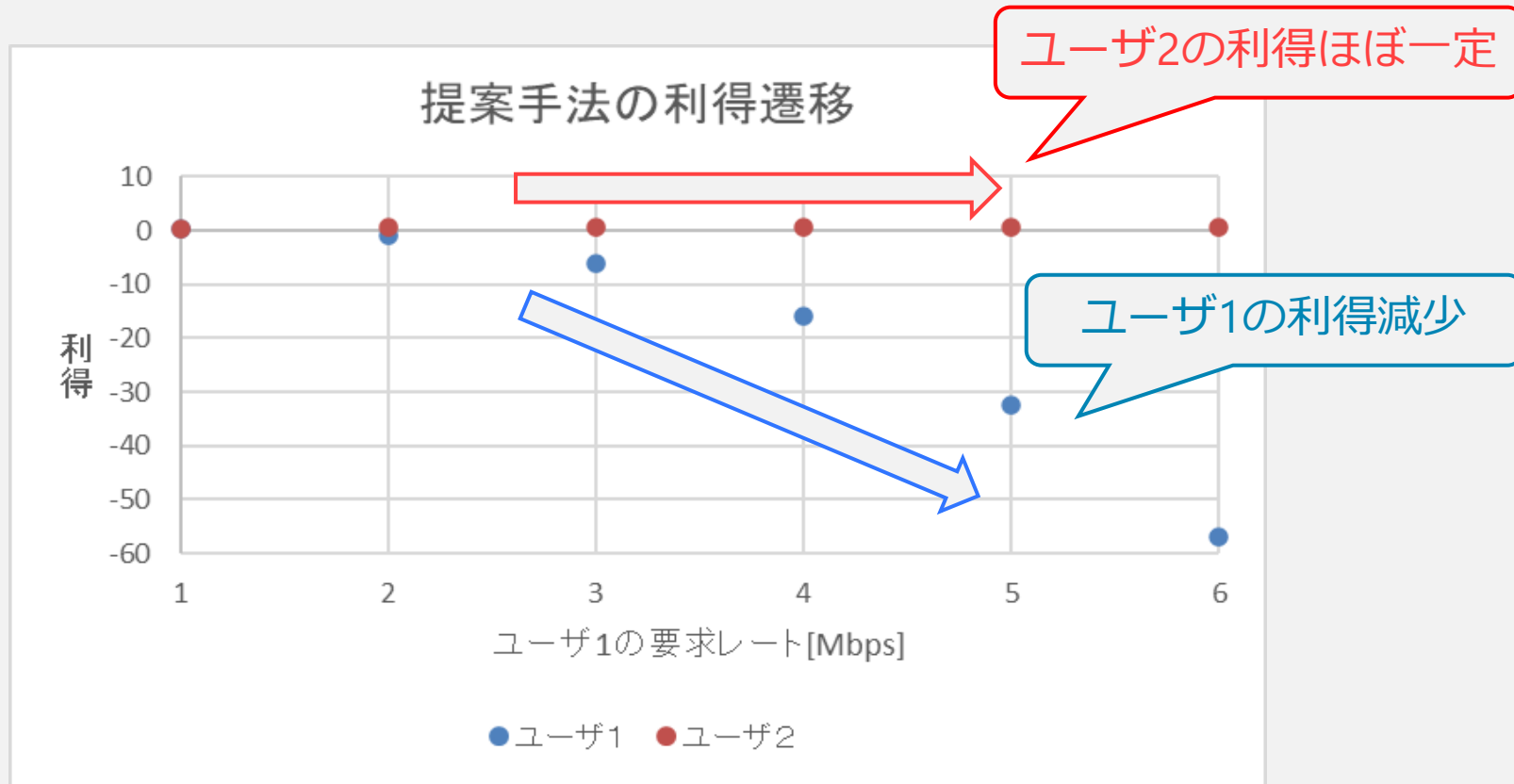
実験結果 – 既存研究



- 全ユーザに同じペナルティ
- 既存研究では、ユーザ1、ユーザ2ともに利得減少



実験結果 – 提案手法



- 提案手法では、利己的な要求をしたユーザ1のみ利得が減少



まとめ

- 提案手法は他ユーザの転送レートへの影響を考慮した関数
 - 利己的なユーザにのみペナルティ
 - 低レートを要求するユーザに対する
不必要なペナルティの排除
- 今後の課題
 - ペナルティを次のレート決定に作用させる