

Title	制御系ホームネットワークアプリケーションに対する QoEおよびQoSに関する研究
Author(s)	大北, 真也
Citation	
Issue Date	2009-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/8098
Rights	
Description	Supervisor:丹 康雄, 情報科学研究科, 修士

修士論文

制御系ホームネットワークアプリケーションに対するQoEおよびQoSに関する研究

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報システム学専攻

大北 真也

2009年3月

修士論文

制御系ホームネットワークアプリケーションに対するQoEおよびQoSに関する研究

指導教官 丹康雄 教授

審査委員主査 丹康雄 教授
審査委員 篠田陽一 教授
審査委員 敷田幹文 准教授

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報システム学専攻

0710015 大北 真也

提出年月: 2009年2月

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究の背景	1
1.2	本研究の目的	1
1.3	研究の流れ	2
1.4	本論文の構成	3
第2章	ホームネットワークの概要	4
2.1	ホームネットワークとは	4
第3章	ホームネットワークサービスと QoE および QoS の関係	5
3.1	ホームネットワークサービスと QoE および QoS の関係	5
3.2	ホームネットワークサービスの分類	5
3.2.1	メーカー別サービスリストの作成	6
3.2.2	各種サービスの分類	7
3.3	ホームネットワークサービスのモデル化	10
3.3.1	コンテンツ共有サービス	14
3.3.2	機器の連動サービス	15
3.3.3	機器制御サービス	17
3.3.4	コンテンツ配信サービス	17
3.3.5	指定場所・機器への通知サービス	18
3.3.6	通話サービス	19
3.3.7	センサ情報の通知サービス	19
3.3.8	IP 音声・映像通信サービス	21
3.3.9	メディア変換サービス	21
3.3.10	ネットゲームサービス	22
3.3.11	遠隔操作サービス	23
3.3.12	メール通知サービス	24
3.3.13	カメラ画像通知サービス	24
3.3.14	複合型サービス	25
3.4	本研究にて実験対象とするサービスの決定	27

第4章	QoE 実験	29
4.1	システムの概要	29
4.2	システムの準備	29
4.2.1	実験機器および対象の選定	30
4.2.2	スイッチの準備	30
4.2.3	QoE 測定のためのアプリケーションの作成	31
4.2.4	QoE 評価シートの作成	31
4.3	実験工程	32
4.3.1	予備実験	33
4.3.2	本実験 1	34
4.3.3	本実験 2	35
4.4	QoE 評価実験結果の評価	38
4.4.1	モデル化	38
4.4.2	モデル化とのマッチング	39
4.4.3	カテゴリ境界の調査	44
4.4.4	カテゴリ境界値の評価	45
第5章	QoS 実験	50
5.1	QoS 実験について	50
5.1.1	システムの概要	50
5.1.2	システムの準備	50
5.1.3	実験工程および結果	51
5.2	QoS パラメータ値と QoE 評価値の対応表の作成	53
第6章	考察	56
第7章	終わりに	57
7.1	まとめ	57
7.2	今後の課題	57
第8章	謝辞	58
付録 A	ホームネットワークサービス分類表	59
付録 B	QoE 測定用シートの見本	60

目次

1.1	QoE と QoS の関係図	2
3.1	QoE と QoS の関係図	5
3.2	ホームネットワークサービスの分類表の構成	6
3.3	メーカー別サービスリストの一部抜粋	7
3.4	機器リストの一部抜粋	7
3.5	機器カテゴリリストの一部抜粋	8
3.6	サービスリストの一部抜粋	8
3.7	サービスカテゴリの基準	9
3.8	サービスカテゴリリストの一部抜粋	10
3.9	機器カテゴリリストの一部抜粋	11
3.10	コンテンツ共有サービスモデル 1	15
3.11	コンテンツ共有サービスモデル 2	15
3.12	機器の連動サービスモデル 1	16
3.13	機器の連動サービスモデル 2	16
3.14	機器の連動サービスモデル 3	16
3.15	機器制御サービスモデル	17
3.16	コンテンツ配信サービスモデル	18
3.17	指定場所・機器への通知サービスモデル	18
3.18	通話サービスモデル	19
3.19	センサ情報の通知サービスモデル 1	20
3.20	センサ情報の通知サービスモデル 2	20
3.21	センサ情報の通知サービスモデル 3	20
3.22	IP 音声・映像通信サービスモデル	21
3.23	メディア変換サービスモデル 1	22
3.24	メディア変換サービスモデル 2	22
3.25	ネットゲームサービスモデル	23
3.26	遠隔操作サービスモデル	23
3.27	メール通知サービスモデル	24
3.28	カメラ画像通知サービスモデル	25
3.29	センサ情報の通知とコンテンツ配信の複合サービスモデル	26
3.30	コンテンツ配信とコンテンツ共有の複合サービスモデル	27

3.31	照明制御サービスモデル	28
3.32	ストリーミングサービスモデル	28
4.1	ストリーミングサービスの実験モデル	29
4.2	照明制御コントローラ	30
4.3	ビデオストリーミングコントローラ	31
4.4	本実験1の結果	34
4.5	本実験1の平均値の結果	35
4.6	本実験2のデータの散布図1	36
4.7	本実験2のデータの散布図2	36
4.8	本実験2のデータの平均値1	37
4.9	本実験2のデータの平均値2	37
4.10	本実験2のデータの平均値1	38
4.11	本実験2のデータの平均値2	38
4.12	本実験2のデータの単回帰線1	40
4.13	本実験2のデータの五次回帰線	40
4.14	本実験2のデータの単回帰線2	41
4.15	本実験2のデータの二次回帰線	41
4.16	本実験2の修正データの散布図2	41
4.17	本実験2の修正データの散布図2	42
4.18	本実験2の修正データの単回帰線1	42
4.19	本実験2の修正データの四次回帰線	43
4.20	本実験2の修正データの単回帰線2	43
4.21	本実験2の修正データの二次回帰線	44
4.22	データの単回帰線の評価結果1	46
4.23	データの五次回帰線の評価結果1	46
4.24	データの単回帰線の評価結果2	47
4.25	データの二次回帰線の評価結果2	47
4.26	修正データの単回帰線の評価結果1	48
4.27	修正データの五次回帰線の評価結果1	48
4.28	修正データの単回帰線の評価結果2	49
4.29	修正データの二次回帰線の評価結果2	49
5.1	IPER と遅延時間の関係	51
5.2	IPLR と遅延時間の関係	52
5.3	IPER と遅延時間の関係と回帰線	53
5.4	IPLR と遅延時間の関係と回帰線	54

表目次

3.1	コンテンツ共有サービスにおける QoE および QoS パラメータ	15
3.2	機器の連動サービスにおける QoE および QoS パラメータ	16
3.3	機器制御サービスにおける QoE および QoS パラメータ 2	17
3.4	コンテンツ配信サービスにおける QoE および QoS パラメータ	18
3.5	指定場所・機器への通知サービスにおける QoE および QoS パラメータ	19
3.6	通話サービスにおける QoE および QoS パラメータ	19
3.7	センサ情報の通知サービスにおける QoE および QoS パラメータ	21
3.8	IP 音声・映像通信サービスにおける QoE および QoS パラメータ	21
3.9	メディア変換サービスにおける QoE および QoS パラメータ	22
3.10	ネットゲームサービスにおける QoE および QoS パラメータ	23
3.11	遠隔操作サービスにおける QoE および QoS パラメータ	24
3.12	メール通知サービスにおける QoE および QoS パラメータ	24
3.13	カメラ画像通知サービスにおける QoE および QoS パラメータ	25
3.14	コンテンツ配信とセンサ情報の通知の複合サービスにおける QoE および QoS パラメータ	26
3.15	コンテンツ配信とコンテンツ共有の複合サービスにおける QoE および QoS パラメータ	27
3.16	照明制御サービスにおける QoE および QoS パラメータ	28
3.17	ストリーミングサービスにおける QoE および QoS パラメータ	28
4.1	照明制御サービスにおける B_{ad} の下端を示し始める遅延時間	33
4.2	照明制御サービスにおける B_{ad} を示し始める遅延時間	34
4.3	データにおける自由度決定済み係数 (Rf^2) と自由度 (n)	39
4.4	修正データにおける自由度決定済み係数 (Rf^2) と自由度 (n)	39
4.5	カテゴリ境界値と遅延時間の対応	45
5.1	IPER と遅延時間	52
5.2	IPLR と遅延時間	52
5.3	照明制御サービスにおける QoE と QoS パラメータの対応	54
5.4	照明制御サービスにおける QoE と QoS パラメータの対応	55
5.5	照明制御サービスにおける QoE と QoS パラメータの対応	55

第1章 はじめに

1.1 研究の背景

近年, 家庭内にネットワーク対応機器が増加し, 今後もそういった機器の開発, 商品化が増加する傾向にあり, それらを使ったホームネットワークの構築がなされつつある.

そこで, ホームネットワークの構築を行うためには必要となる機器を準備し, ホームネットワークサービスを実現するためのネットワークの設計を行わなければならない. ネットワークを設計するには, まず QoE を決定することから始め, そして, それに見合うようにパケットの転送遅延や損失率, 誤り率といった QoS パラメータを調整を行う.

現在, IP 電話サービスにおける音声品質や, IPTV, VOD(Video On Demand) の映像品質, ブラウザに表示されたページ上のリンクをクリックして画像を表示させ, その際の待ち時間をサービス品質とした QoE 評価といったものが存在し, MOS 値等を用いた評価方法により, 主観的な評価を客観的な評価値として出している. 品質の異なるサービスを提供する差別化サービスを行うときや, 通信量が増大しつづけている昨今において過剰な品質の保証は結果としてユーザー全体に不利益をもたらす可能性も考えられる. そんな中で, 通信サービス品質の最終的な判断を行う主要な要因のひとつとして QoE 評価を行うことは非常に重要である.

しかし, ホームネットワーク内の他の機器における QoE 評価は従来ほとんど行われてこなかった, そこで本研究ではホームネットワークにおける制御系アプリケーションに対する QoE および QoS に関して研究を行うものとする.

1.2 本研究の目的

本研究の目的は, ホームネットワークにおける機器の使用に際しての QoE の測定と, 適切な QoE を導出するための QoS 要因の特定を行うことである. ここで, QoS(Quality of Service) が通信事業者やサービス提供者から見たサービス品質の尺度であるのに対し, QoE(Quality of Experience) とはユーザー体感品質のことで, ユーザーから見たサービス品質の尺度である.

本研究では, まず対象となるホームネットワークサービスを決定するためにホームネットワークサービスの網羅的なリストを作成し, そのリストを用いて研究対象とするサービスおよび, 対象サービスの測定対象を決定する. 次に対象サービスの QoE 測定の為のシステムを構築および作成し, 被験者を用いた測定実験を行う. 続いて, QoE 測定実験により分

かった結果を基に QoS 測定実験を行う。最後に、QoE 測定実験および QoS 測定実験の結果より任意のホームネットワーク環境における理想的な QoE を維持するための各種 QoS パラメータの設定を導くと共に、特に影響を及ぼしている QoS パラメータの割り出しを行う。

1.3 研究の流れ

研究の流れについて説明する。まず、世の中にあるサービスから本研究の実験に適用可能なサービスを見つけるために、ホームネットワークにおける対象機器およびサービスの調査を行う。

次に、QoE と QoS を考えるために先ほどの調査により作成したリストから選定したサービスに対して、どのような機器構成であり、どういった通信を行うのか、またその場合どのような QoS パラメータおよび QoE が適用できるのかといったモデル化を行う。このモデルより本研究で対象とするサービスを考える。また対象とするサービスに対してもモデル化を行い調査対象を明確にする。そして QoE 測定実験によりどういったサービス状態のときに、どのような QoE 評価値が得られるのかを調査するため、実験に必要なアプリケーションや機器の構築および作成を行い、被験者を用いた QoE の測定を行う。

最後に QoS の測定実験により、先ほど調べた QoE 評価値が得られるサービス状態にした際に QoS パラメータがどのような値をとるのかを調査する。これにより QoE と QoS の関係を考察する。図 1.1 にここで説明した一連の流れを示す。

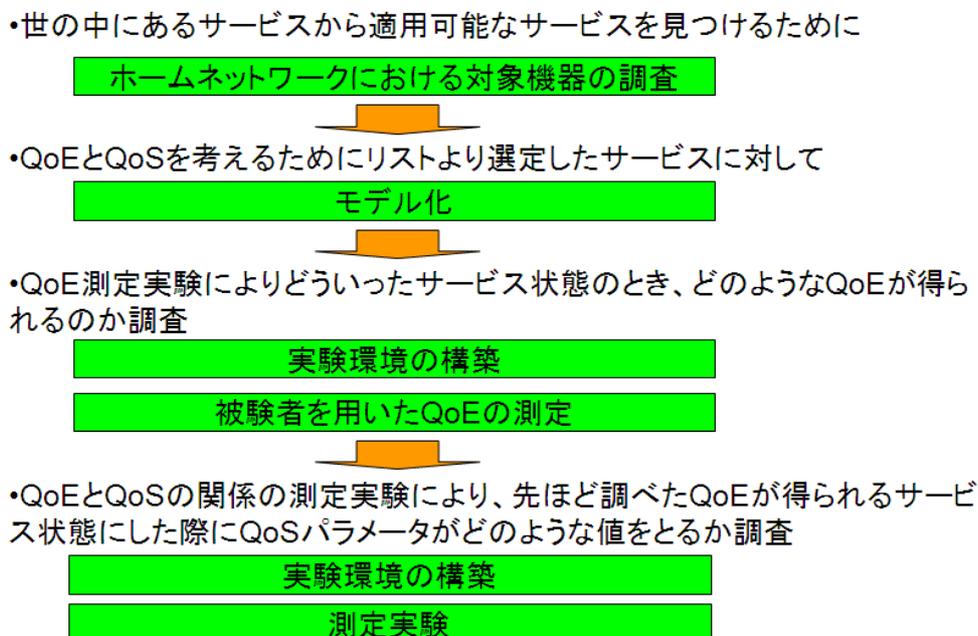


図 1.1: QoE と QoS の関係図

1.4 本論文の構成

本論文は以下の構成になっている。

- 第1章 はじめに
研究の背景と目的, 本論文を通しての全体の流れの説明を行う。
- 第2章 ホームネットワークの概要
ホームネットワークの概要およびホームネットワークサービスと QoE の関係の現状についてまとめる。
- 第3章 ホームネットワークサービスと QoE および QoS の関係
提案システムの実現方法の検討を行う。
- 第4章 QoE 実験
提案システムの実装に関する説明および実験結果を提示する。
- 第5章 QoS 実験
提案システムの実装に関する説明および実験結果を提示する。
- 第6章 考察
提案システムの考察と問題点について述べる。
- 第7章 終わりに
今後の展望や課題について述べ, 本論文の総括を行う。

第2章 ホームネットワークの概要

2.1 ホームネットワークとは

ホームネットワークとは、有線や無線などの伝送技術を用いることで家電の制御や管理を行うことが可能なネットワークである。近年、家庭内にネットワーク対応機器が増加し、今後もそういった機器の開発、商品化が増加する傾向にあり、それらを使ったホームネットワークの構築がなされつつあり、Echonet を用いた白物家電機器の制御や DLNA や UPnP を用いた AV 機器の制御が行われてきている。

第3章 ホームネットワークサービスと QoE および QoS の関係

3.1 ホームネットワークサービスと QoE および QoS の関係

元来、ユーザーがサービスを利用する場合、サービスに対するユーザー体感品質というものが存在する。それを QoE(Quality of Experience) と呼び、現在 QoE を調べるための研究が各種行われている。ネットワークサービスでも同様に、VoIP や IPTV, VOD, ブラウジングなどのサービスに対する QoE 評価がなされている。しかし、ホームネットワーク内の他の機器における QoE 評価は従来ほとんど行われておらず、これから益々普及してくるであろうホームネットワークサービスの QoE 評価を行う必要性がある。

サービス品質 QoE はユーザー間の end-to-end を対象とするもので、QoS にはネットワーク間のみを対象とするネットワーク QoS と端末での処理も含めたものをアプリケーション QoS と呼ぶ。本研究ではサービス品質 QoE とネットワーク QoS を対象とする。図 3.1 にネットワークと機器および QoE の関係性を示す：

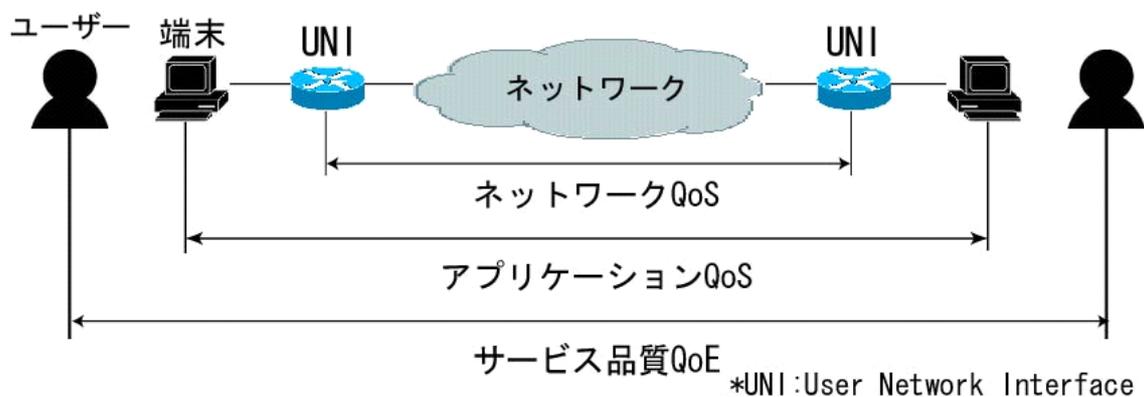


図 3.1: QoE と QoS の関係図

3.2 ホームネットワークサービスの分類

ホームネットワークサービスの QoE を調べるにあたり、どのサービスを本研究の対象とするのかを決定するために、まずどのようなサービスが存在し、こういったサービス形態を

とっており、その場合どのような QoE および QoS が関係してくるのかについて調べる必要がある。そこで世の中にあるホームネットワークサービスに対して数段階の分類を行った。分類表は全体として図 3.2 のように構成される。分類表をつくる手順および研究対象とするサービスの決定までの流れを以下に示す：

1. メーカー別サービスリストの作成
2. 各種サービスの分類
 - (a) 機器リストの作成
 - (b) 機器カテゴリリストの作成
 - (c) サービスリストの作成
 - (d) サービスカテゴリリストの作成
3. サービスのモデル化
4. 研究対象サービスの選定とモデル化

まず、メーカー別にホームネットワークのサービスとして展開しているものを列挙し、リストとした。次に、機器リストおよび機器カテゴリリストを作成。そしてメーカー別サービスリストより類似サービスをまとめたサービスリストを作成。このサービスリストから更にサービスの種類別にまとめたサービスカテゴリリストを作成。

以上のリストを作成した後、サービスリストおよびサービスカテゴリリストよりサービスのおおまかなモデル化を行う。これにより、サービスに関する QoE や QoS を割り出す。最後に作成したサービスモデルより、本研究で対象するサービスを決定し、対象するサービスのモデル化を個別に行った。

機器リスト	種別	機器カテゴリリスト	サービスリスト	サービスカテゴリリスト
...

図 3.2: ホームネットワークサービスの分類表の構成

3.2.1 メーカー別サービスリストの作成

メーカー別にホームネットワークサービスを調査し、メーカー別のリストの作成をすることにより世の中にあるホームネットワークサービスの洗い出しを行った。図 3.3 が、そのメーカー別のサービスリストの一部抜粋である。詳細については、付録 [A] に記載する。

サービス	対象	操作・通知方法	操作・通知対象機器	操作(通知)場所	サービス名など
みえます ネット	ホームネットワークカメラ	ブラウザ、リモコン	携帯電話、カーナビ、PC、TV	宅内/宅外	みえます ネット
ネットワークカメラのセンサログを通知	ホームネットワークカメラ内蔵センサ	メール	携帯		
来客応対	ドアホン	音、リモコン	専用端末、TV	宅内	
敷地侵入検知	カメラ	画像、音	専用端末		
来客・敷地侵入者録画	カメラ、ドアホン	自動録画	専用端末、レコーダ		
火災発報表示	センサー	音、文字	センサー		
玄関ドア施錠	電子錠	スイッチ	専用端末、TV、PC	宅内/宅外	
内線通話	専用端末	画像、音	専用端末	宅内	
戸締り確認	窓	ブラウザ	専用端末		
盗侵入警報	窓	音	センサー		
発報エリア確認	センサー	ブラウザ	専用端末		
外部への警報	ブザー	音	センサー		
非常事態警報	専用端末	音	専用端末		
留守時来客確認	ドアホン	画像	専用端末、TV		
敷地侵入確認	カメラ	画像	専用端末、TV、携帯(静止画)		
来客メール通知	ドアホン	メール	携帯		ライフニティ
敷地侵入メール通知	カメラ	メール	携帯		

図 3.3: メーカー別サービスリストの一部抜粋

3.2.2 各種サービスの分類

メーカー別サービスリストより、そのサービスの性質別にまとめた。まず、ホームネットワークサービスで利用が考えられる全機器リストと、その種別、およびAV機器や白物家電といった機器カテゴリリストを参考文献[1]より引用した。図3.4がその機器リストの一部抜粋で、図3.5がそのサービスカテゴリリストその一部抜粋である。次に、メーカー別サービスリストよりサービスの性質別にまとめたサービスリストを機器カテゴリリストに則って作成した。図3.6がサービスリストの一部抜粋である。そして、サービスリストを以下に作成した図3.7の基準に則って分類分けし、サービスカテゴリリストを作成した。また、図3.8がサービスカテゴリリストの一部抜粋である。

機器リスト
フルHDレコーディングモデル
フルHDネットワークモデル
プラズマテレビ
液晶テレビ
ブラウン管テレビ
プロジェクションテレビ
プロジェクター
フラットパネルテレビ
テレビデオ
HD DVD搭載ハードディスク
デジタルハイビジョンチューナー
デジタルハイビジョンチューナー
HDD&DVDレコーダー
VTR一体型HDD&DVDレコーダー
HDDレコーダー
VTR一体型HDD&DVDレコーダー

図 3.4: 機器リストの一部抜粋

機器カテゴリリスト
AV機器
住宅設備
情報機器
白物家電

図 3.5: 機器カテゴリリストの一部抜粋

サービスリスト
映像コンテンツ共有
音楽コンテンツ共有
写真・イメージデータ共有
家庭向けネットサーバ(写真コンテンツ共有)
家庭向けネットサーバ(音楽コンテンツ共有)
家庭向けネットサーバ(映像コンテンツ共有)
カーナビによるBluetooth対応機器の音源再生
防水ワイヤレスモニター
オーディオシステムとTVのリンク

図 3.6: サービスリストの一部抜粋

サービスカテゴリ名	対象
コンテンツ共有	PCやテレビからマルチメディアサーバーやレコーダなどにアクセスすることにより、保持しているコンテンツを共有するサービス
コンテンツ配信	コンテンツをサービス提供会社からインターネットを通して受け取るサービス
機器の遠隔制御	携帯電話やPCなどを用いることにより対象機器を遠隔操作するサービス
通話	非IPな音声相互通信サービス
センサ情報の通知	携帯電話やPCなどにセンサのログ情報などを通知するサービス
カメラ画像の通知	カメラに映った映像、もしくは静止画を配信するサービス
IP音声・映像通信サービス	IPを用いた音声もしくは映像相互通信サービス
ネットゲーム	ゲーム機などを用いた通信ネットワークゲーム
単独機器の設定	設定対象とは違う機器から、対象となる機器のメニューを設定することが出来るサービス
メール通知	簡単操作で、予め決めておいた宛先に対して、メール送信を行ったり、メールを伝言板のように使うサービス
指定場所・機器への通知	緊急時に、予め決定しておいた宛先に対して、(メール以外の)通知を行うサービス
メディア変換	入力データを別のメディアやデータ形式に変換して出力するサービス
機器の連動	機器を連動させるサービス

図 3.7: サービスカテゴライズの基準

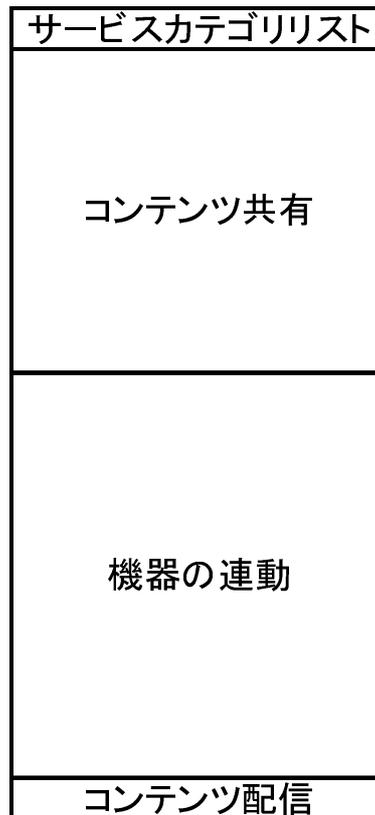


図 3.8: サービスカテゴリリストの一部抜粋

3.3 ホームネットワークサービスのモデル化

サービスリストおよびサービスカテゴリリストを元に、ホームネットワークサービスのモデル化を行った。まず、これから使う用語の定義を図 3.9 および以下に示す。

- Throughput(a)
 - 制御信号を送信した際に宛先から応答が返ってくるまでに要する時間
- Delay(b)
 - サービス開始から完了までの時間

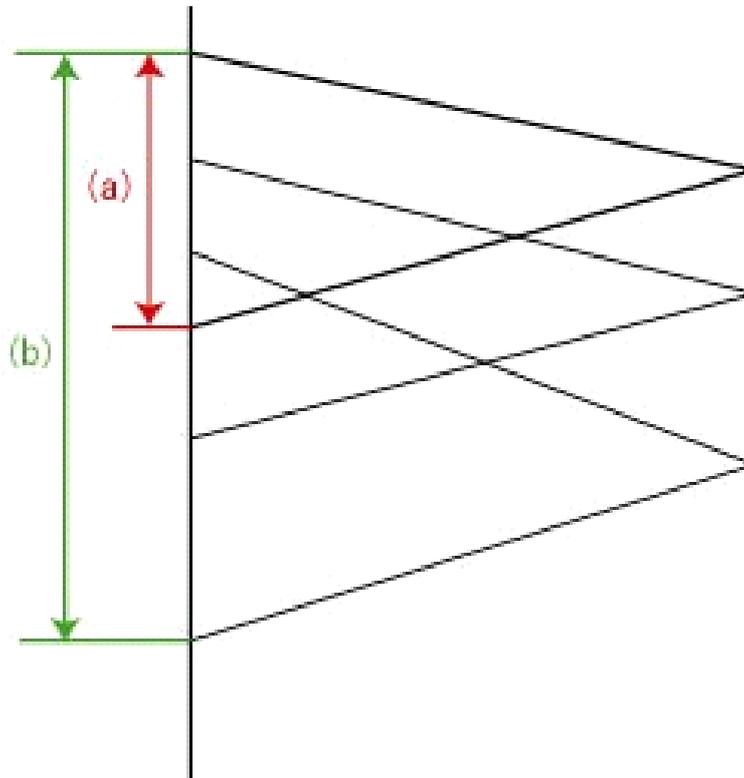


図 3.9: 機器カテゴリリストの一部抜粋

これを用いてモデル化の説明を行う。サービスモデルとして定義するものは、機器の構成例および、どのような QoS パラメータが考えられるか、またその場合どのような QoE パラメータが考えられるかである。詳細なモデル化を行ってしまうと汎用性が無くなってしまいうため、今回はあえて詳細なモデルにはしなかった。また QoS パラメータは ITU-T Y.1541 勧告 [2] より以下の 5 つを採用した。

- IPTD(IP Packet Transfer Delay)
- IPLR(IP Packet Loss Ratio)
- IPER(IP Packet Error Ratio)
- IPDV(IP Packet Delay Variation)
- IPRR(IP Packet Reordered Ratio)

以降で各 QoS パラメータの説明を行う。

IPTD

IPTD(IP Packet Transfer Delay) はパケット転送遅延のことで、測定地点を MP_n とした際に MP_1 から MP_n にパケットを送信し、パケットの送信始めの時間を t_1 、パケットが完全に届き終わった時間を t_2 とした際に、 $t_2 > t_1$ とすると以下の式で求めることが出来る。

$$IPTD = t_2 - t_1 \quad (3.1)$$

IPLR

IPLR(IP Packet Loss Ratio) はパケット損失率のことで、パケットロスしたパケットを x 、パケット転送が成功したパケットを y とすると以下の式で求めることが出来る。

$$IPLR = \frac{x}{x + y} \quad (3.2)$$

IPER

IPER(IP Packet Error Ratio) はパケット誤り率のことで、IP パケットのトータルエラーを x 、IP パケットのパケット転送成功トータルを y とすると以下の式で求めることが出来る。

$$IPER = \frac{x}{x + y} \quad (3.3)$$

IPDV

IPDV(IP Packet Delay Variation) はパケット遅延変動(ジッタ)のことで、測定地点を MP_n とした際に MP_0 から MP_1 に到達したパケットを MP_2 に送信する。 k は幾つ目のパケットを表し、 MP_1 にパケットが到達する時間を $a_{1,k}$ 、 MP_2 にパケットが到達する時間を $a_{2,k}$ とした場合

$$x_k = a_{2,k} - a_{1,k} \quad (3.4)$$

$$d_{1,2} = a_{2,0} - a_{1,0} \quad (3.5)$$

とすると以下の式で求めることが出来る。また v_k と $IPDV$ は同義である。

$$IPDV = v_k = x_k - d_{1,2} \quad (3.6)$$

IPRR

IPRR(IP Packet Reordered Ratio) はパケット順序逆転率のことで、順序逆転したパケットのトータルを x 、パケット転送が成功したパケットのトータルを y とすると以下の式で求めることが出来る。

$$IPRR = \frac{x}{y} \quad (3.7)$$

また、サービスカテゴリのモデルはサービスカテゴリおよび複合型サービスで以下のよう構成される。

- 単一サービス
 - コンテンツ共有サービス
 - * モデル 1
 - * モデル 2
 - 機器の連動サービス
 - * モデル 1
 - * モデル 2
 - * モデル 3
 - 機器制御サービス
 - * モデル 1
 - コンテンツ配信サービス
 - * モデル 1
 - 指定場所・機器への通知サービス
 - * モデル 1
 - 通話サービス
 - * モデル 1
 - センサ情報の通知サービス
 - * モデル 1
 - * モデル 2
 - * モデル 3
 - IP 音声・映像通信サービス
 - * モデル 1
 - メディア変換サービス

- * モデル1
- * モデル2
- ネットゲームサービス
 - * モデル1
- 遠隔操作サービス
 - * モデル1
- メール通知サービス
 - * モデル1
- カメラ画像通知サービス
 - * モデル1
- 複合型サービス
 - コンテンツ配信とセンサ情報の通知の複合サービス
 - * モデル1
 - コンテンツ共有とコンテンツ配信の複合サービス
 - * モデル1

またモデル1のQoEとQoSに関しては他のモデルに関してはモデル1の経路とQoEおよびQoSの関係を参照するものとする。

3.3.1 コンテンツ共有サービス

図3.10, 3.11はコンテンツ共有サービスのモデルであり、メディアプレイヤーとメディアサーバで構成される。場合によってはここにセッションサーバが加わる。QoEとしては制御信号を送信した際の反応の悪さに対するユーザー体感品質や、コンテンツデータが届くまでの待ち時間に対するユーザー体感品質、劣化したコンテンツデータを利用する際のユーザー体感品質といったものが挙げられる。またモデル1のQoEとQoSに関しては表3.1で述べた。他のモデルに関してはモデル1の経路とQoEおよびQoSの関係を参照するものとする。

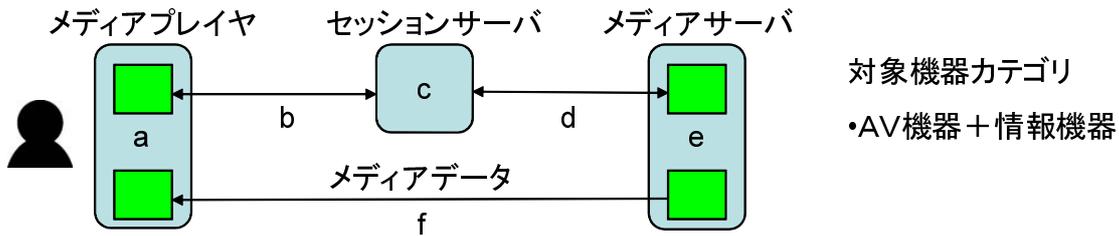


図 3.10: コンテンツ共有サービスモデル 1

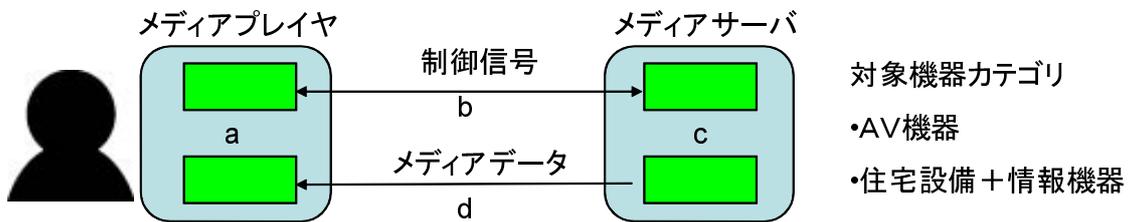


図 3.11: コンテンツ共有サービスモデル 2

表 3.1: コンテンツ共有サービスにおける QoE および QoS パラメータ

区間	QoS パラメータ	QoS パラメータ値の変化により起こること	QoE として考えられること
b, d	IPTD	Throughput が下がる	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPER	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPLR	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
f	IPTD	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPER	コンテンツデータが劣化する	劣化データに対するユーザー体感品質
-	IPLR	コンテンツデータが劣化する	劣化データに対するユーザー体感品質
-	IPDV	受信速度が安定しない	劣化データに対するユーザー体感品質

3.3.2 機器の連動サービス

図 3.12, 3.13, 3.14 は機器の連動サービスのモデルであり、メディアプレイヤーとメディアサーバもしくはクライアントマシンと操作対象機器で構成される。QoE としては制御信号を送信した際の反応の悪さに対するユーザー体感品質や、メディアデータやデータが届くまでの待ち時間に対するユーザー体感品質、メディアデータの劣化によるユーザーがデータを利用する際の体感品質といったものが挙げられる。またモデル 1 の QoE と QoS に関しては表 3.2 で述べた。他のモデルに関してはモデル 1 の経路と QoE および QoS の関係を参照するものとする。

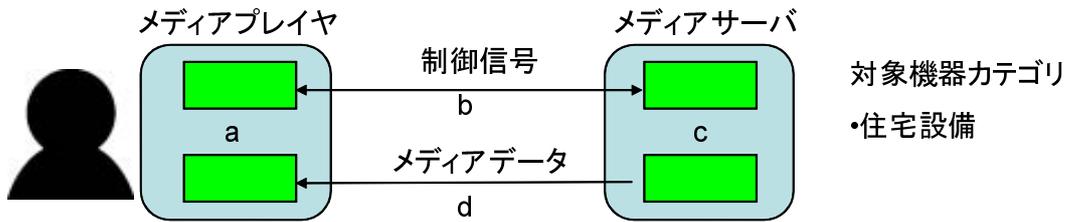


図 3.12: 機器の連動サービスモデル 1

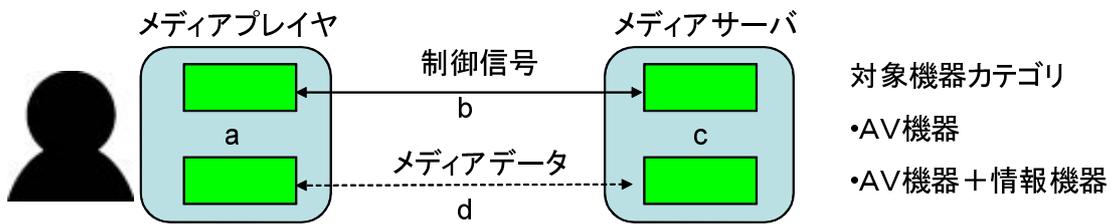


図 3.13: 機器の連動サービスモデル 2

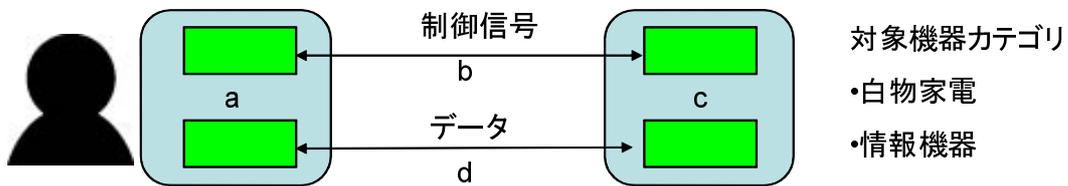


図 3.14: 機器の連動サービスモデル 3

表 3.2: 機器の連動サービスにおける QoE および QoS パラメータ

区間	QoS パラメータ	QoS パラメータ値の変化により起こること	QoE として考えられること
b	IPTD	Throughput が下がる	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPER	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPLR	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
d	IPTD	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPER	コンテンツデータが劣化する	劣化データに対するユーザー体感品質
-	IPLR	コンテンツデータが劣化する	劣化データに対するユーザー体感品質
-	IPDV	受信速度が安定しない	劣化データに対するユーザー体感品質

3.3.3 機器制御サービス

図 3.15 は機器制御サービスのモデルであり、クライアントマシンと指定機器で構成される。QoE としては制御信号を送信した際の反応の悪さに対するユーザー体感品質といったものが挙げられる。またモデル 1 の QoE と QoS に関しては表 3.3 で述べた。

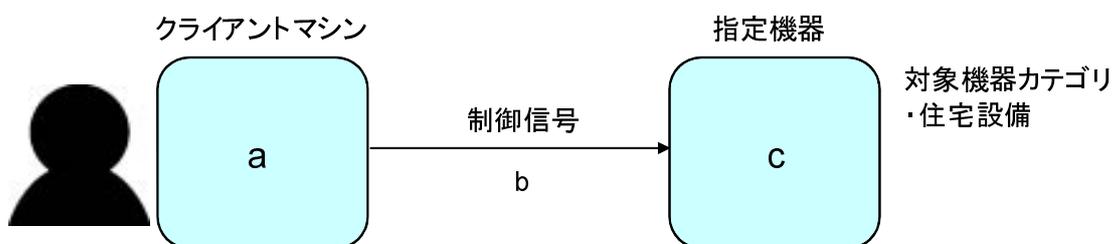


図 3.15: 機器制御サービスモデル

表 3.3: 機器制御サービスにおける QoE および QoS パラメータ 2

区間	QoS パラメータ	QoS パラメータ値の変化により起こること	QoE として考えられること
b	IPTD	Throughput が下がる	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPER	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPLR	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質

3.3.4 コンテンツ配信サービス

図 3.16 はコンテンツ配信サービスのモデルであり、クライアントマシンとコンテンツサーバで構成される。QoE としては制御信号を送信した際の反応の悪さに対するユーザー体感品質や、コンテンツデータが届くまでの待ち時間に対するユーザー体感品質、劣化したコンテンツデータを利用する際のユーザー体感品質といったものが挙げられる。またモデル 1 の QoE と QoS に関しては表 3.4 で述べた。

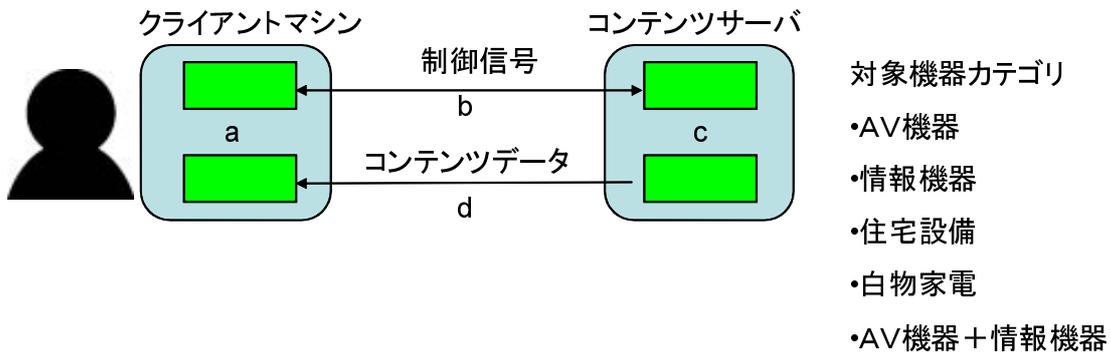


図 3.16: コンテンツ配信サービスモデル

表 3.4: コンテンツ配信サービスにおける QoE および QoS パラメータ

区間	QoS パラメータ	QoS パラメータ値の変化により起こること	QoE として考えられること
b	IPTD	Throughput が下がる	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPER	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPLR	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
d	IPTD	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPER	コンテンツデータが劣化する	劣化データに対するユーザー体感品質
-	IPLR	コンテンツデータが劣化する	劣化データに対するユーザー体感品質
-	IPDV	受信速度が安定しない	劣化データに対するユーザー体感品質

3.3.5 指定場所・機器への通知サービス

図 3.17 は指定場所・機器への通知サービスのモデルであり、クライアントマシンと指定機器で構成される。QoE としては制御信号を送信した際の反応の悪さに対するユーザー体感品質が挙げられる。またモデル 1 の QoE と QoS に関しては表 3.5 で述べた。

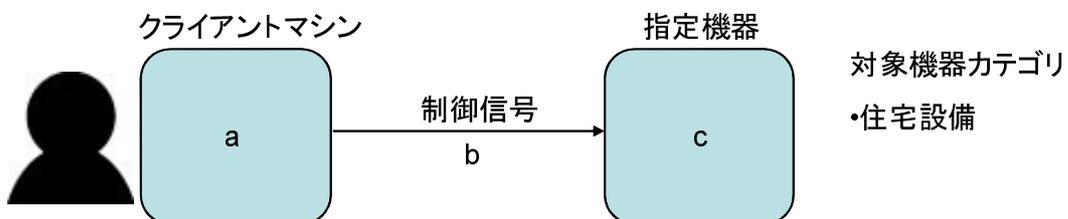


図 3.17: 指定場所・機器への通知サービスモデル

表 3.5: 指定場所・機器への通知サービスにおける QoE および QoS パラメータ

区間	QoS パラメータ	QoS パラメータ値の変化により起こること	QoE として考えられること
b	IPTD	Throughput が下がる	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPER	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPLR	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質

3.3.6 通話サービス

図 3.18 は通話サービスのモデルであり, メディアプレイヤーとセッションサーバおよびメディアサーバで構成される. QoE としてはメディアデータの劣化によるユーザーがデータを利用する際の体感品質といったものが挙げられる. またモデル 1 の QoE と QoS に関しては表 3.6 で述べた.

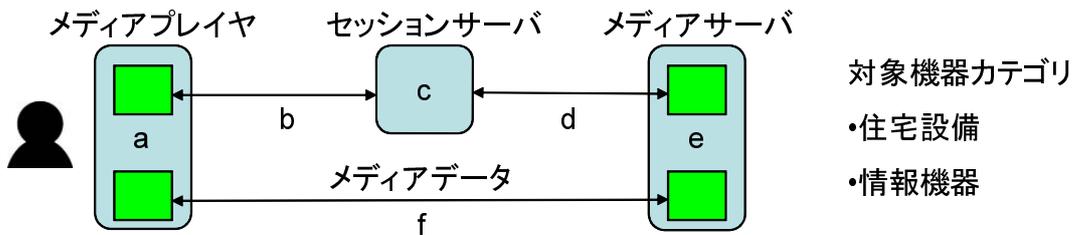


図 3.18: 通話サービスモデル

表 3.6: 通話サービスにおける QoE および QoS パラメータ

区間	QoS パラメータ	QoS パラメータ値の変化により起こること	QoE として考えられること
f	IPTD	Delay が伸びる	劣化データに対するユーザー体感品質
-	IPER	コンテンツデータが劣化する	劣化データに対するユーザー体感品質
-	IPLR	コンテンツデータが劣化する	劣化データに対するユーザー体感品質
-	IPDV	受信速度が安定しない	劣化データに対するユーザー体感品質

3.3.7 センサ情報の通知サービス

図 3.19, 3.20, 3.21 はセンサ情報の通知サービスのモデルであり, クライアントマシンとセンサ情報受信機およびセンサ機器で構成される. QoE としては制御信号を送信した際の反応の悪さに対するユーザー体感品質や, データが届くまでの待ち時間に対するユーザー体感品質といったものが挙げられる. またモデル 1 の QoE と QoS に関しては表 3.7 で述

べた. 他のモデルに関してはモデル1の経路とQoEおよびQoSの関係を参照するものとする.

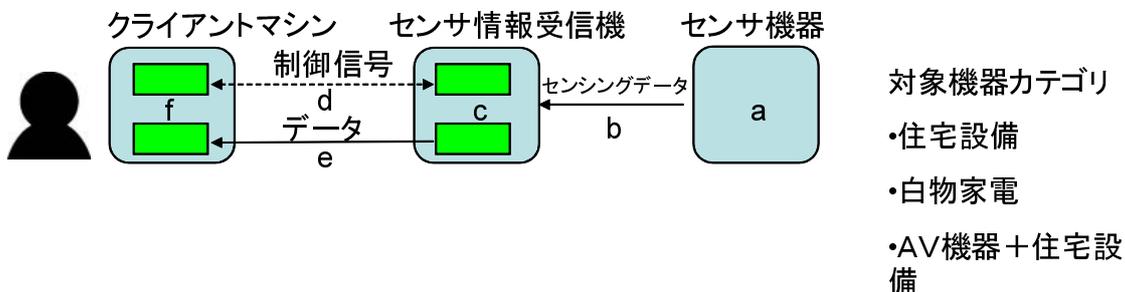


図 3.19: センサ情報の通知サービスモデル 1

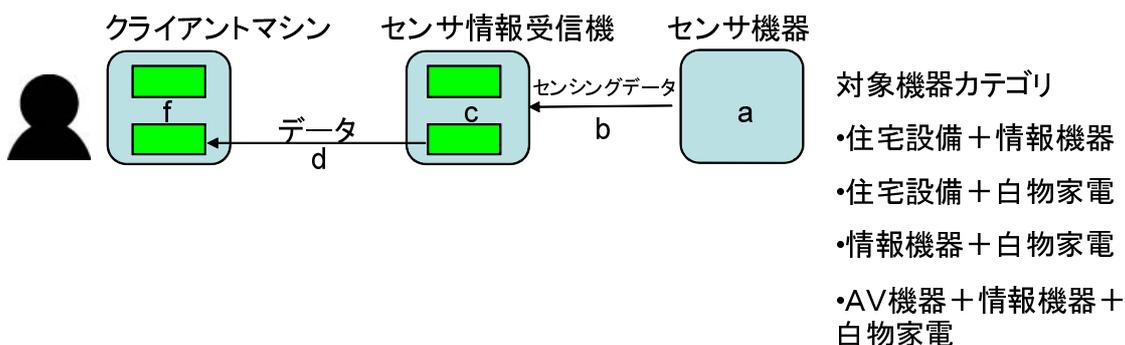


図 3.20: センサ情報の通知サービスモデル 2

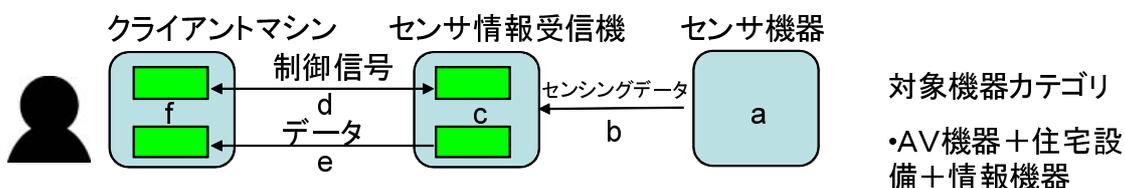


図 3.21: センサ情報の通知サービスモデル 3

表 3.7: センサ情報の通知サービスにおける QoE および QoS パラメータ

区間	QoS パラメータ	QoS パラメータ値の変化により起こること	QoE として考えられること
d	IPTD	Throughput が下がる	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPER	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPLR	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
e	IPTD	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPER	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPLR	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPDV	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質

3.3.8 IP 音声・映像通信サービス

図 3.22 は IP 音声・映像通信サービスのモデルであり、クライアントマシンとセッションサーバおよび相手側マシンで構成される。QoE としてはメディアデータが届くまでの待ち時間に対するユーザー体感品質、劣化したメディアデータを利用する際のユーザー体感品質といったものが挙げられる。またモデル 1 の QoE と QoS に関しては表 3.8 で述べた。

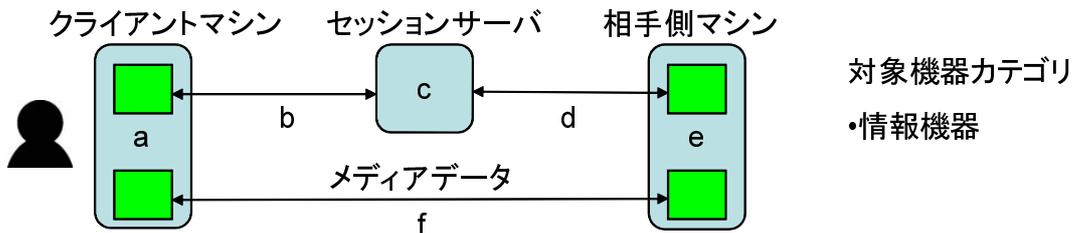


図 3.22: IP 音声・映像通信サービスモデル

表 3.8: IP 音声・映像通信サービスにおける QoE および QoS パラメータ

区間	QoS パラメータ	QoS パラメータ値の変化により起こること	QoE として考えられること
f	IPTD	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPER	メディアデータが劣化する	劣化データに対するユーザー体感品質
-	IPLR	メディアデータが劣化する	劣化データに対するユーザー体感品質
-	IPDV	受信速度が安定しない	劣化データに対するユーザー体感品質

3.3.9 メディア変換サービス

図 3.23, 3.24 はメディア変換サービスのモデルであり、クライアントマシンと送信先機器で構成される。場合によってはそこにメールサーバが加わる。QoE としてはメディアデー

タを送信してから出力が反映されるまでの待ち時間に対するユーザー体感品質といったものが挙げられる。またモデル1のQoEとQoSに関しては表3.9で述べた。他のモデルに関してはモデル1の経路とQoEおよびQoSの関係を参照するものとする。

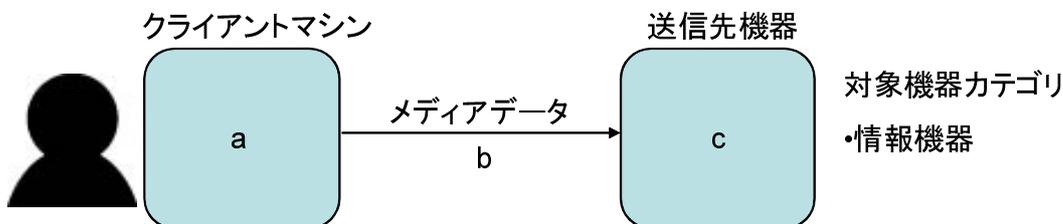


図 3.23: メディア変換サービスモデル1



図 3.24: メディア変換サービスモデル2

表 3.9: メディア変換サービスにおける QoE および QoS パラメータ

区間	QoS パラメータ	QoS パラメータ値の変化により起こること	QoE として考えられること
b	IPTD	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPER	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPLR	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPDV	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質

3.3.10 ネットゲームサービス

図 3.25 はネットゲームサービスのモデルであり、クライアントマシンとサーバで構成される。QoE としては制御信号を送信した際の反応の悪さに対するユーザー体感品質や、コンテンツデータが届くまでの待ち時間に対するユーザー体感品質、劣化したコンテンツデータを利用する際のユーザー体感品質といったものが挙げられる。またモデル1のQoEとQoSに関しては表3.10で述べた。

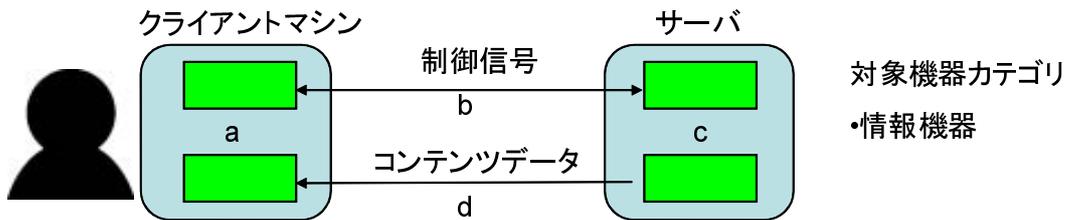


図 3.25: ネットゲームサービスモデル

表 3.10: ネットゲームサービスにおける QoE および QoS パラメータ

区間	QoS パラメータ	QoS パラメータ値の変化により起こること	QoE として考えられること
b	IPTD	Throughput が下がる	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPER	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPLR	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
d	IPTD	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPER	コンテンツデータが劣化する	劣化データに対するユーザー体感品質
-	IPLR	コンテンツデータが劣化する	劣化データに対するユーザー体感品質
-	IPDV	受信速度が安定しない	劣化データに対するユーザー体感品質

3.3.11 遠隔操作サービス

図 3.26 は遠隔操作サービスのモデルであり、クライアントマシンとサーバで構成される。QoE としては制御信号を送信した際の反応の悪さに対するユーザー体感品質や、コンテンツデータが届くまでの待ち時間に対するユーザー体感品質といったものが挙げられる。またモデル 1 の QoE と QoS に関しては表 3.11 で述べた。

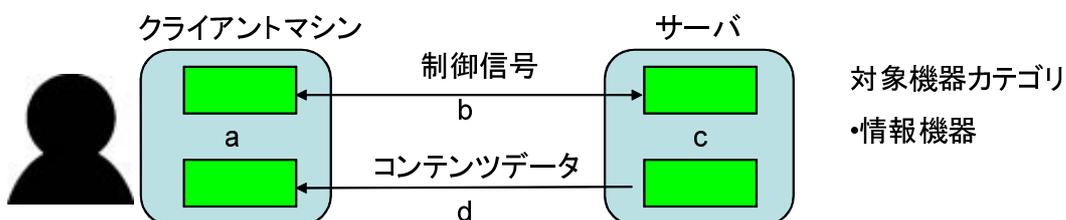


図 3.26: 遠隔操作サービスモデル

表 3.11: 遠隔操作サービスにおける QoE および QoS パラメータ

区間	QoS パラメータ	QoS パラメータ値の変化により起こること	QoE として考えられること
b	IPTD	Throughput が下がる	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPER	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPLR	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
d	IPTD	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPER	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPLR	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPDV	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質

3.3.12 メール通知サービス

図 3.27 はメール通知サービスのモデルであり、クライアントマシンとメールサーバおよび送信先機器で構成される。QoE としてはメールデータを送信してから出力が反映されるまでの待ち時間に対するユーザー体感品質といったものが挙げられる。またモデル 1 の QoE と QoS に関しては表 3.12 で述べた。

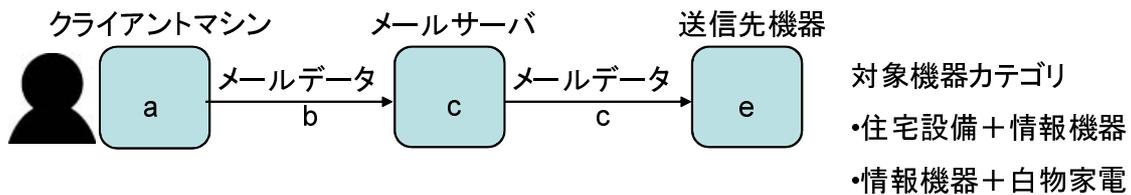


図 3.27: メール通知サービスモデル

表 3.12: メール通知サービスにおける QoE および QoS パラメータ

区間	QoS パラメータ	QoS パラメータ値の変化により起こること	QoE として考えられること
b, c	IPTD	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPER	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPLR	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPDV	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質

3.3.13 カメラ画像通知サービス

図 3.28 はカメラ画像通知サービスのモデルであり、クライアントマシンとサーバで構成される。QoE としては制御信号を送信した際の反応の悪さに対するユーザー体感品質や、メディアデータが届くまでの待ち時間に対するユーザー体感品質、劣化したメディアデー

タを利用する際のユーザー体感品質といったものが挙げられる。またモデル1のQoEとQoSに関しては表3.13で述べた。

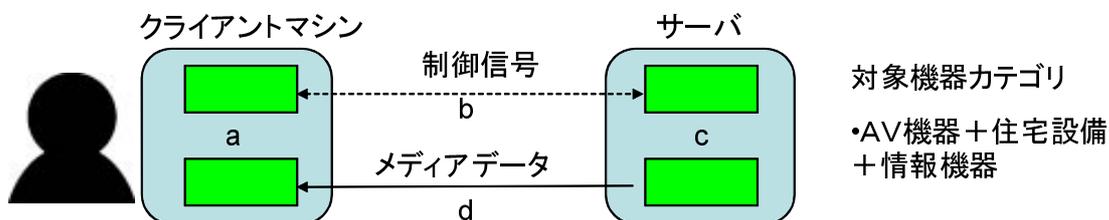


図 3.28: カメラ画像通知サービスモデル

表 3.13: カメラ画像通知サービスにおける QoE および QoS パラメータ

区間	QoS パラメータ	QoS パラメータ値の変化により起こること	QoE として考えられること
b	IPTD	Throughput が下がる	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPER	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPLR	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
d	IPTD	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPER	メディアデータが劣化する	劣化データに対するユーザー体感品質
-	IPLR	メディアデータが劣化する	劣化データに対するユーザー体感品質
-	IPDV	受信速度が安定しない	劣化データに対するユーザー体感品質

3.3.14 複合型サービス

これまで挙げたものは単体サービスについてであったが、サービス同士が連携した複合型のサービスというものが存在する。そこで複合型サービスについてもモデルを考えた。

センサ情報の通知とコンテンツ配信の複合サービス

図 3.29 はセンサ情報の通知とコンテンツ配信の複合サービスのモデルであり、クライアントマシンとセンサ情報受信機、センサ機器およびサーバで構成される。QoE としては制御信号を送信した際の反応の悪さに対するユーザー体感品質や、データが届くまでの待ち時間に対するユーザー体感品質といったものが挙げられる。

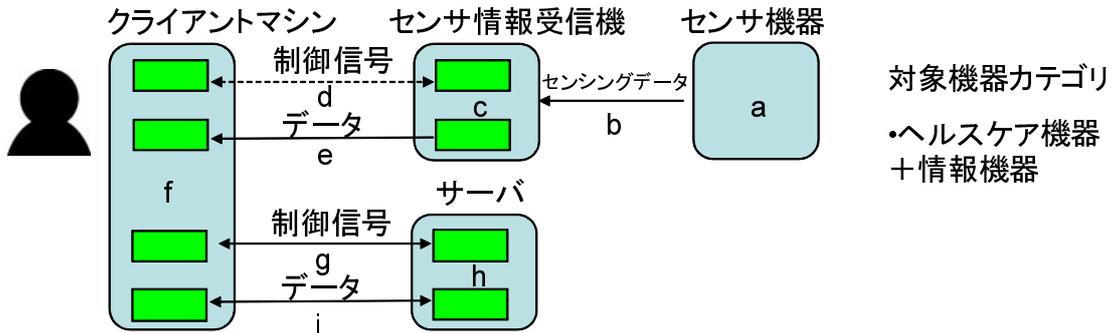


図 3.29: センサ情報の通知とコンテンツ配信の複合サービスモデル

表 3.14: コンテンツ配信とセンサ情報の通知の複合サービスにおける QoE および QoS パラメータ

区間	QoS パラメータ	QoS パラメータ値の変化により起こること	QoE として考えられること
d, g	IPTD	Throughput が下がる	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPER	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPLR	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
e, i	IPTD	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPER	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPLR	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPDV	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質

コンテンツ共有とコンテンツ配信の複合サービス

図 3.30 はコンテンツ配信とコンテンツ共有の複合サービスのモデルであり、クライアントマシンとセンサ情報受信機およびサーバで構成される。QoE としては、制御信号を送信した際の反応の悪さに対するユーザー体感品質や、データが届くまでの待ち時間に対するユーザー体感品質といったものが挙げられる..

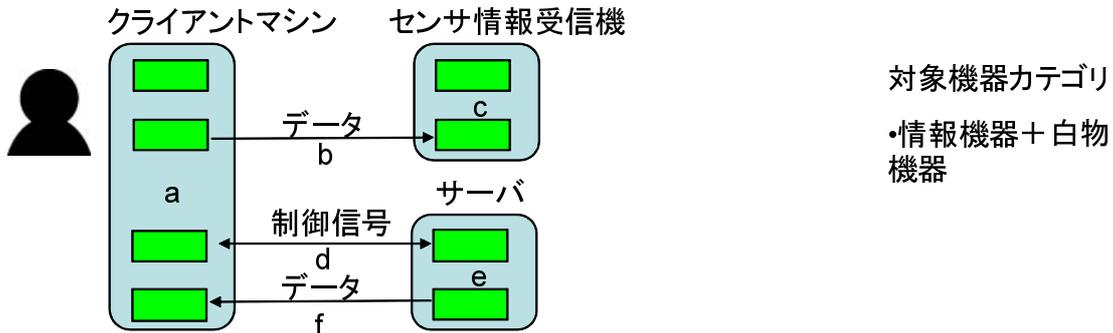


図 3.30: コンテンツ配信とコンテンツ共有の複合サービスモデル

表 3.15: コンテンツ配信とコンテンツ共有の複合サービスにおける QoE および QoS パラメータ

区間	QoS パラメータ	QoS パラメータ値の変化により起こること	QoE として考えられること
d, g	IPTD	Throughput が下がる	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPER	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPLR	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
e, i	IPTD	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPER	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPLR	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPDV	Delay が伸びる	待ち時間に対するユーザー体感品質

3.4 本研究にて実験対象とするサービスの決定

作成したホームネットワークサービスのモデルより、本研究で対象とするホームネットワークの選定を行う。本研究では既存研究では行われていない制御系ホームネットワークサービスを対象とした。そこで、機器制御サービスの区間 d とコンテンツ共有サービスの区間 b を対象とし、サービスとしては照明制御サービスとストリーミングサービスを対象とした。図 3.31, 3.32 は実験対象とするホームネットワークサービスのモデル化を行ったものである。照明制御サービスの QoE は制御信号を送信した際の反応の悪さに対するユーザー体感品質である。ストリーミングサービスの QoE は制御信号を送信した際の反応の悪さに対するユーザー体感品質である。表 3.17, 3.16 がそれぞれの QoE と QoS の関係を示している。

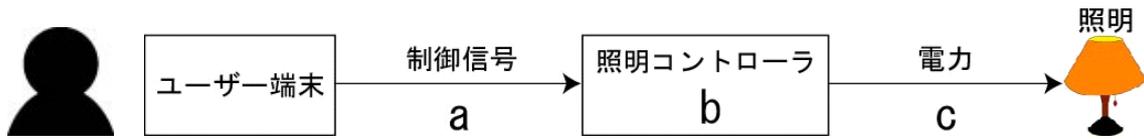


図 3.31: 照明制御サービスモデル

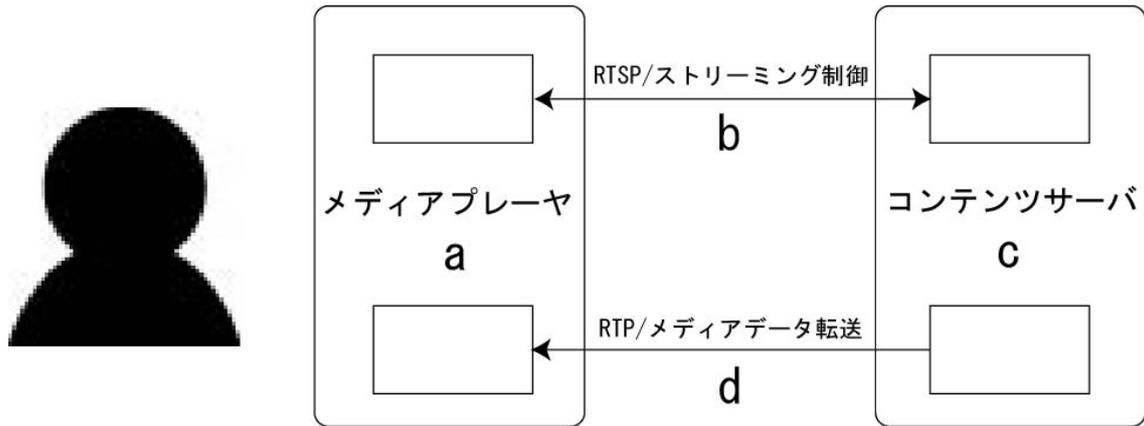


図 3.32: ストリーミングサービスモデル

表 3.16: 照明制御サービスにおける QoE および QoS パラメータ

区間	QoS パラメータ	QoS パラメータ値の変化により起こること	QoE として考えられること
a	IPTD	制御信号が反映される時間が遅くなる	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPER	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPLR	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質

表 3.17: ストリーミングサービスにおける QoE および QoS パラメータ

区間	QoS パラメータ	QoS パラメータ値の変化により起こること	QoE として考えられること
b	IPTD	再生や一時停止を押しても、反映される時間が遅くなる	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPER	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
-	IPLR	制御信号が反映されたりされなかったりする	反応の悪さに対するユーザー体感品質
d	IPTD	コンテンツの受信速度が低下する	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPER	コンテンツデータが劣化する	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPLR	コンテンツデータが劣化する	待ち時間に対するユーザー体感品質
-	IPDV	受信速度が安定しない	待ち時間に対するユーザー体感品質

第4章 QoE実験

4.1 システムの概要

実験対象となる照明制御サービスとストリーミングサービスのモデルより QoE 評価値の測定実験のための準備物を示す。照明制御サービスは被験者がスイッチを押した際に照明が点くまでに要した時間とそれに対する QoE 評価値との関係を、ストリーミングサービスは照明制御サービスにおける主観評価実験のみではなく、被験者がビデオストリーミングの操作を行った際の客観評価の結果も取れるようにし、それに対する QoE 評価値との関係を見る。図 4.1 に照明制御サービスの実験システムの概観を示す。



図 4.1: ストリーミングサービスの実験モデル

4.2 システムの準備

実験を行うためにシステムとして用意するものとして、照明制御サービスの場合は、まず照明器具、次に照明機器を ON/OFF 操作するためのスイッチ、そして意図的に遅延を発生させるためのアプリケーション、被験者が評価結果をマークするための QoE 評価シートが必要となる。また、無限に遅延時間を設定して測定実験を行うことは出来ないため、実験に適用する最大遅延時間を決定しなければならないため、予備実験により決定するための指標を測定した。

また、ストリーミングサービスの場合は、まず実験に用いるビデオ映像、制御するためのスイッチの準備。そして、ビデオストリーミングを操作および意図的に遅延を発生させるためのアプリケーション、QoE 評価シートの作成、最大遅延時間を決定するための予備実験が必要となる。

4.2.1 実験機器および対象の選定

照明制御サービス実験において選定の際に重要な要因となるのは、点灯までの時間である。蛍光灯であった場合、コンデンサーに電荷を溜めてから行うものや、経年劣化により点灯に時間を要するなどの問題があったため、本実験ではLED照明を用いた。

4.2.2 スイッチの準備

照明の点灯制御を行う場合、通常機械的なスイッチを使うことが一般的である。そこで、本研究でも機械的なスイッチとして被験者が扱えるように波動型スイッチを用いた制御スイッチを作成した。図4.2が実験に使用したスイッチの概観である。

ビデオストリーミングの場合に関しても、PCのマウス操作では習熟度による個体差が生じる可能性があるため、ハードウェア的なスイッチを用いることとし、スイッチを準備した。図4.3が実験に使用したスイッチの概観である。

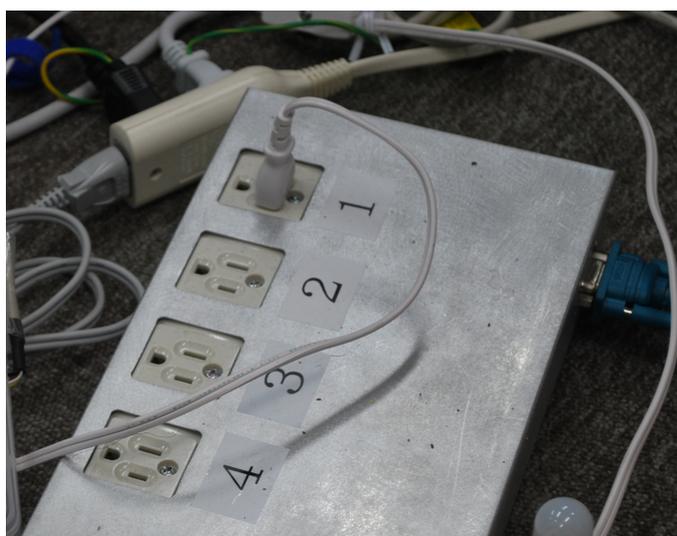


図 4.2: 照明制御コントローラ



図 4.3: ビデオストリーミングコントローラ

4.2.3 QoE 測定のためのアプリケーションの作成

照明制御サービス実験およびストリーミングサービス実験において C# により遅延時間として任意の時間, 遅延をかけることのできるアプリケーションを作成した. 照明制御サービス実験においては, 照明の ON/OFF を制御することのできる装置にシリアルポートから照明制御のためのコマンドを送信する.

ストリーミングサービス実験においては, WindowsMediaPlayer を通信を行わずスイッチが接続されたマシンと同一のマシン上で操作する.

4.2.4 QoE 評価シートの作成

参考文献 [3] を元に Excellent, Good, Fair, Poor, Bad の項目の 5 段階の QoE 評価シートを作成した. なお, 各段階の説明は以下のようにした. 実際に作成した QoE シートは付録 [B] に載せた.

- 照明制御実験

- Excellent
 - * 初めに被験者に示したもの（基準物）と同じ感覚で操作できるレベル
- Good
 - * 基準物と比べて違和感を感じるレベル
- Fair
 - * 基準物より少し遅いが問題のないレベル
- Poor
 - * 基準物より遅く感じるが、我慢できるレベル
- Bad
 - * 基準物と比べて非常に遅く感じるレベル
 - * スイッチの ON/OFF 操作をもう一度行いたくなるレベル
 - * 故障かな？と感じるレベル

- ストリーミング実験

- Excellent
 - * 初めに被験者に示したもの（基準物）と同じ感覚で操作できるレベル
- Good
 - * 基準物と比べて違和感を感じるレベル
- Fair
 - * 基準物より少し遅いが問題のないレベル
- Poor
 - * 基準物より遅く感じるが、我慢できるレベル
- Bad
 - * 基準物と比べて非常に遅く感じるレベル

4.3 実験工程

本実験を行う前に、どれくらいまでの値を設定して実験を行うかといったことを決定するための予備実験といったものが必要となる。この節ではそれら実験工程について説明する。

また予備実験と本実験の1回目で用いた実験システムでは設定した遅延時間よりも約 1[s]

の遅れがある。例えば、遅延時間を 500ms と設定したのであれば、本来は約 1.5[s] の遅延があるということである。

本実験の 2 回目では本実験の 1 回目とは違うシステムを用いたため、こういった問題は解消された。

4.3.1 予備実験

本実験においてサンプルを無限にとるわけにはいかないため、遅延時間の最大値を決定しなければならない。そこで予備実験として何 [ms] くらいで Bad の下端を示し始めるのかを調べた。実験方法は、照明制御サービスでは被験者を 5 人用い 1000ms 間隔の遅延パターンのランダムな配列を用意し (全被験者に同じ配列パターンを適用)、被験者が Bad の下端を示したらそれよりもの遅延の小さいもののみを計測し、次に Bad の下端以外の評価を示したら、最後に Bad の下端の評価を示したものと、Bad の下端以外の評価を示したときの中間値を計測した。

これより、3 人以上が Bad の下端を示し始める遅延時間は、12500ms であることが分かった。上述の理由により約 13.5[s] であることが考えられる。表 4.1 が各被験者が Bad の下端を示し始めた遅延時間である。しかし、参考文献によると本実験において被験者の集中力の問題から、実験時間は 30 分くらいまでだとされている。故に、この実験結果を実験で用いる遅延時間の最大値とすると、実験時間が長時間に渡ることになる。そこで、何 [ms] くらいから Bad を示し始めるのかを調べた。実験方法は、照明制御サービスでは被験者を 5 人用い 1000ms 間隔の遅延パターンのランダムな配列を用意し (全被験者に同じ配列パターンを適用)、被験者が Bad の範囲を示したらそれよりもの遅延の小さいもののみを計測し、次に Bad の範囲外の評価を示したら、最後に Bad の範囲内の評価を示したものと、Bad の範囲外の評価を示したときの中間値を計測した。

これより、3 人以上が Bad を示し始める遅延時間は、4000ms であることが分かった。上述の理由により約 5[s] であることが考えられる。表 4.2 が各被験者が Bad を示し始めた遅延時間である。

表 4.1: 照明制御サービスにおける Bad の下端を示し始める遅延時間

被験者	Bad を下端を示し始めた遅延時間 [ms]
A	11500
B	4500
C	14500
D	12500
E	8000

表 4.2: 照明制御サービスにおける Bad を示し始める遅延時間

被験者	Bad を示し始めた遅延時間 [ms]
A	500
B	2500
C	4000
D	4000
E	5000

4.3.2 本実験 1

被験者の人数や, 実験時間等に関しては参考文献 [4], 実験方法に関しては参考文献 [5] を, QoE シートの採点方法に関しては参考文献 [3] を参照した.

実験は被験者を 9 人, 遅延時間を 200ms 間隔としてランダム配列し, 最大 4000[ms] までとした. しかしランダムに出力した同じ配列のものを全被験者に適応し, なおかつ実験システムにはデフォルトで約 1[s] の遅延が存在するものとする.

実験結果は表および図 4.4, 4.5 のようになった. 図 4.4 の実験データより, 例えば 800[ms] や 1800[ms] の地点では, 前の遅延時間の影響等により複数人が同じ遅延時間で異常な評価値を示すことが分かった.

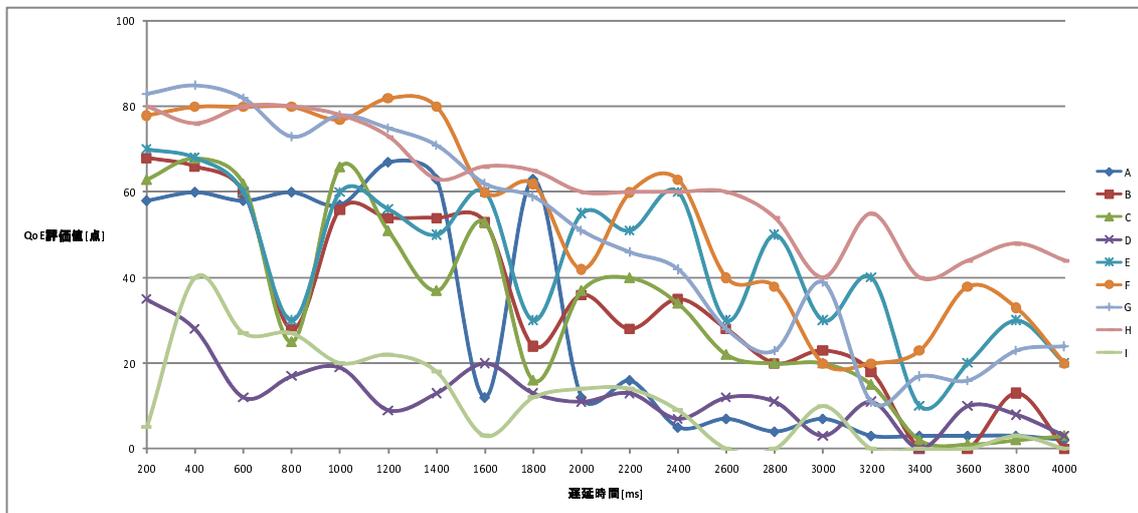


図 4.4: 本実験 1 の結果

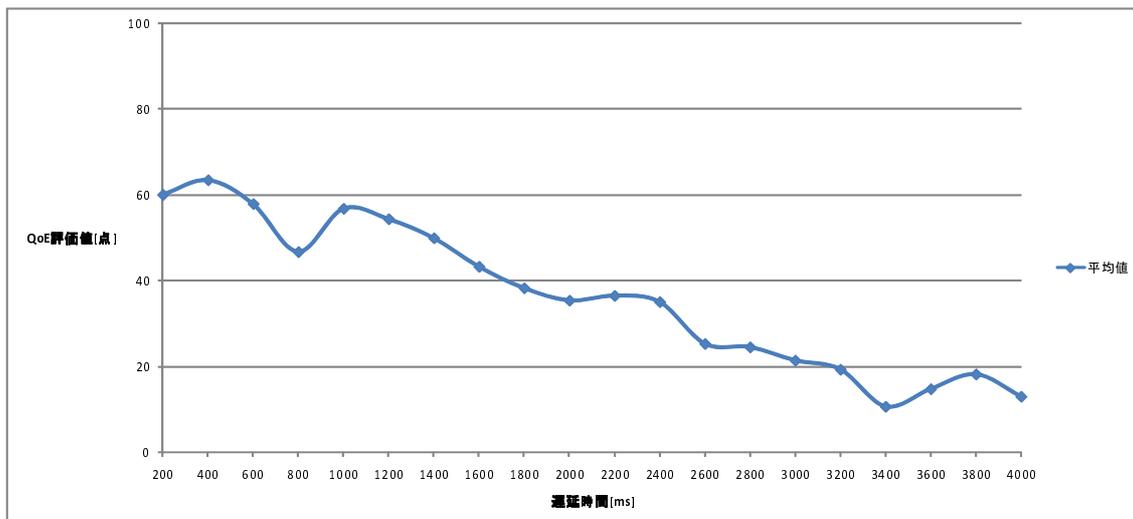


図 4.5: 本実験 1 の平均値の結果

4.3.3 本実験 2

本実験では被験者を 15 人とし、遅延時間は 55[ms] と 200[ms] 間隔の二種類を用いた。55[ms] 間隔のものは最大 605[ms] まで、200[ms] 間隔のものは、今回のシステムでは本実験 1 のシステムとは異なり 1[s] のデフォルト遅延が存在しないため最大 5000[ms] までとした。また、遅延時間はランダムに配列に、被験者毎に違うランダムの遅延配列を用いた。実験結果は図 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 のようになった。そこで、採ったデータをそのままにしておいたものと、修正したデータのものとして二つ考えた。以下に修正データを作成するために行った処理方法を示す。

本来、基準物に対する評価は満点でなくてはならない。しかし、必ずしも被験者が基準物に対して毎回満点を提示するとは限らない。そこで基準物に対して被験者がつけた点数を t_0 とし、評価物 (故意に遅延を発生させたもの) に対して被験者がつけた点数を t_1 とし、修正した結果の評価物の点数を T とすると以下のように計算することにより修正データを作成した。

$$T = t_1 \frac{100}{t_0} \quad (4.1)$$

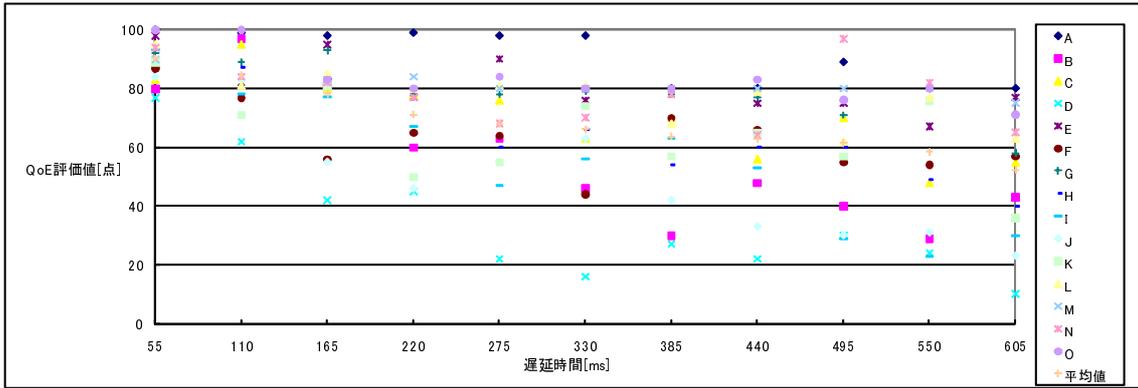


図 4.6: 本実験 2 のデータの散布図 1

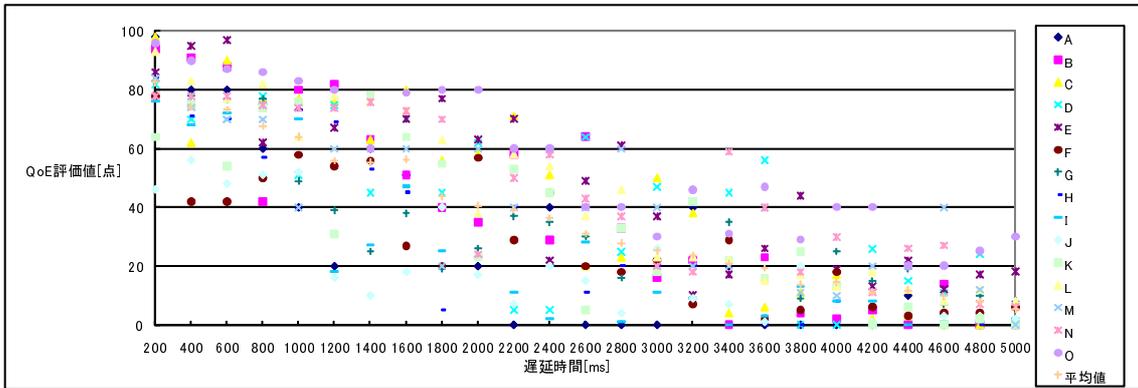


図 4.7: 本実験 2 のデータの散布図 2

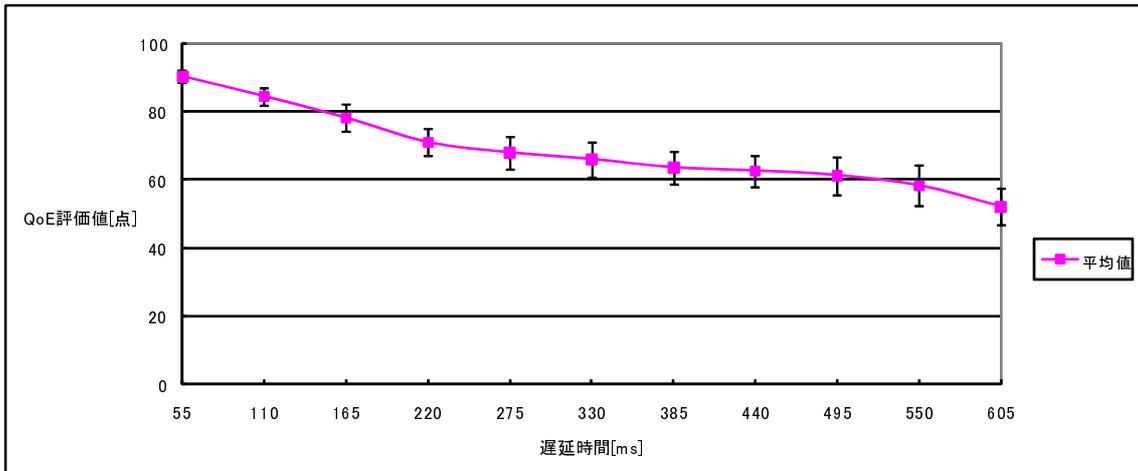


図 4.8: 本実験 2 のデータの平均値 1

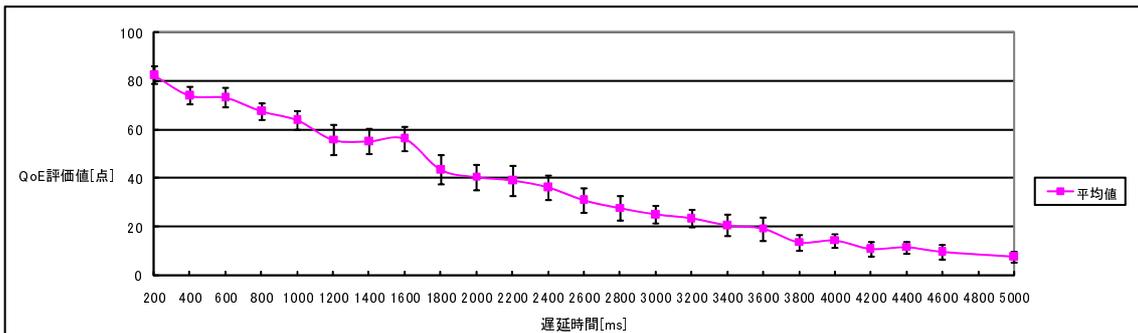


図 4.9: 本実験 2 のデータの平均値 2

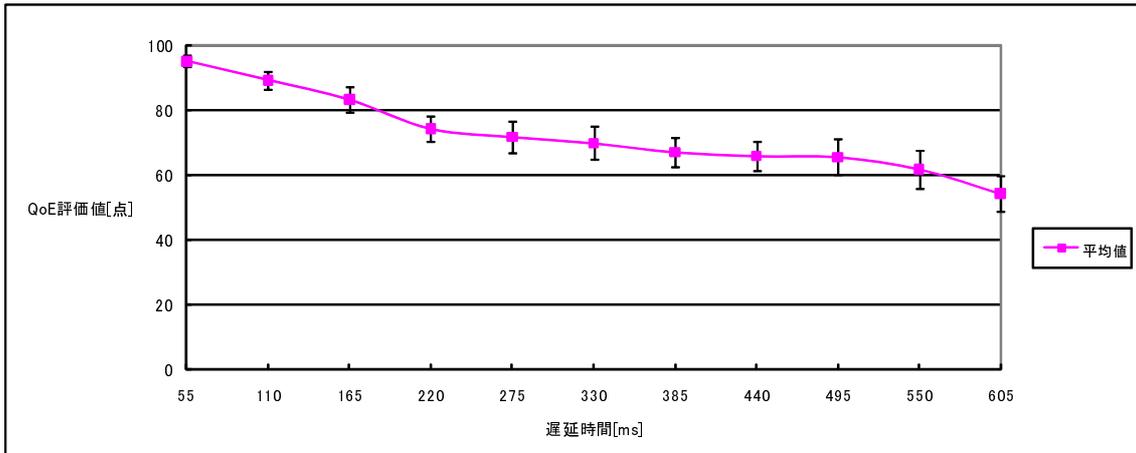


図 4.10: 本実験 2 のデータの平均値 1

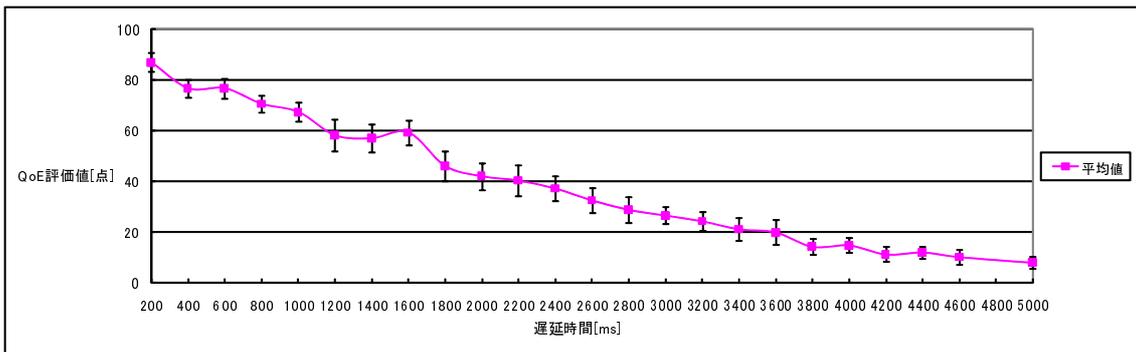


図 4.11: 本実験 2 のデータの平均値 2

4.4 QoE 評価実験結果の評価

本実験 2 により作成したグラフの回帰線を最小二乗法により導出し、その回帰線の評価を行う。

4.4.1 モデル化

こういった回帰線を当てはめるのが正しいのかを検討する。今回は単回帰線と高次回帰線について考えた。また、調査したデータと、データに修正を加えたデータに関して回帰線をそれぞれ考えた。

4.4.2 モデル化とのマッチング

モデル化した回帰線と、データとのマッチングを行う。方法として参考文献 [6] より自由度決定済み係数を採用した。以下に自由度決定済み係数 R_f^2 の算出方法を示す。

$$R_f^2 = 1 - \frac{n-1}{n-k-1}(1-R^2) \quad (4.2)$$

これにより表 4.3, 4.4 のような結果が得られた。そこで、今回は 55[ms] 間隔のデータに関しては単回帰線と五次回帰線、修正したデータに関しては単回帰線と五次回帰線を、200[ms] 間隔のデータおよび修正したデータに関しては単回帰線と二次回帰線を採用した。図 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 がデータの回帰線とグラフ、図 4.17, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 が修正データの回帰線とグラフである。

表 4.3: データにおける自由度決定済み係数 (R_f^2) と自由度 (n)

遅延間隔 [ms]	R_f^2	自由度 (n)	R^2
55	0.959811689	2	0.967849351
-	0.987575372	3	0.991302761
-	0.996746498	4	0.998047899
-	0.996802914	5	0.998401457
-	0.996003643	6	0.998401457
200	0.993159915	2	0.993729922
-	0.992992183	3	0.99386816

表 4.4: 修正データにおける自由度決定済み係数 (R_f^2) と自由度 (n)

遅延間隔 [ms]	R_f^2	自由度 (n)	R^2
55	0.947066743	2	0.957653395
-	0.977493017	3	0.984245112
-	0.992508948	4	0.995505369
-	0.991508975	5	0.995754488
-	0.991281622	6	0.996512649
200	0.992401807	2	0.99303499
-	0.992184592	3	0.993161518

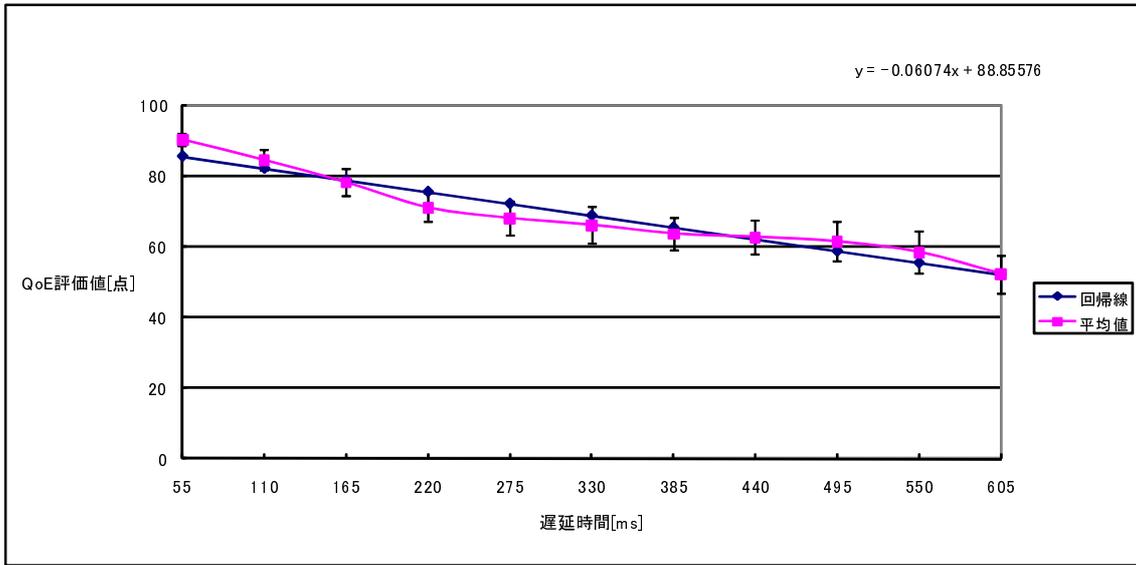


図 4.12: 本実験 2 のデータの単回帰線 1

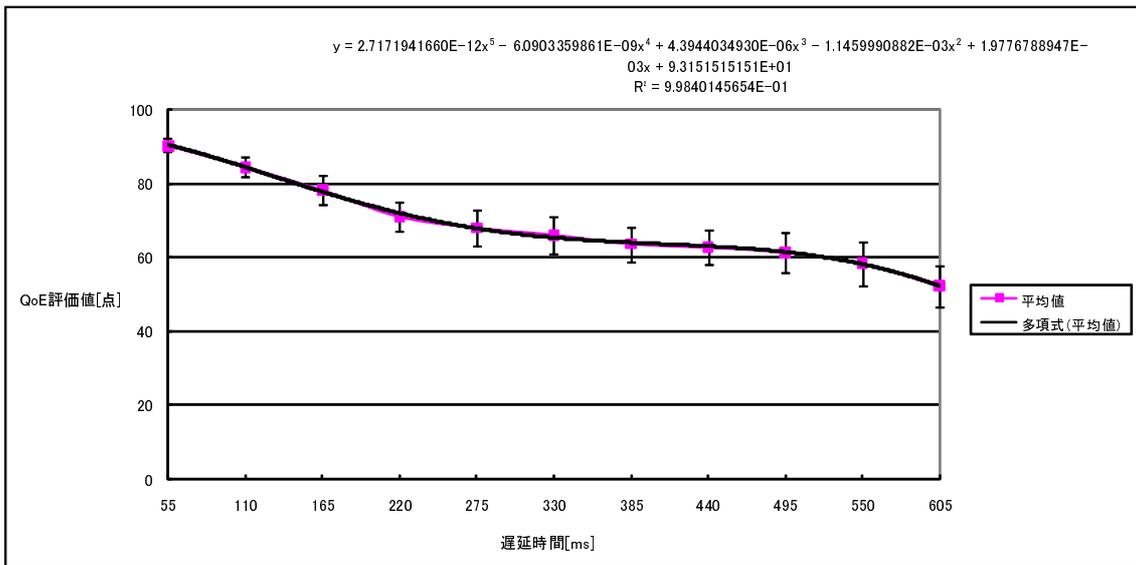


図 4.13: 本実験 2 のデータの五次回帰線

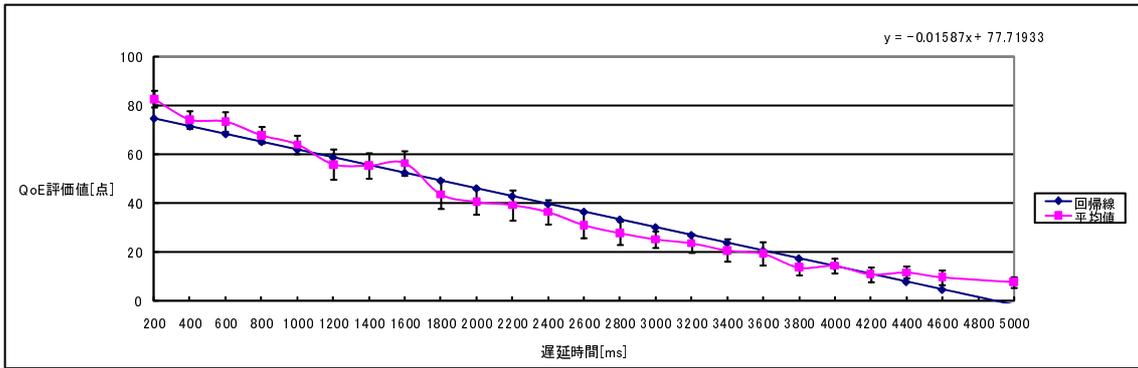


図 4.14: 本実験 2 のデータの単回帰線 2

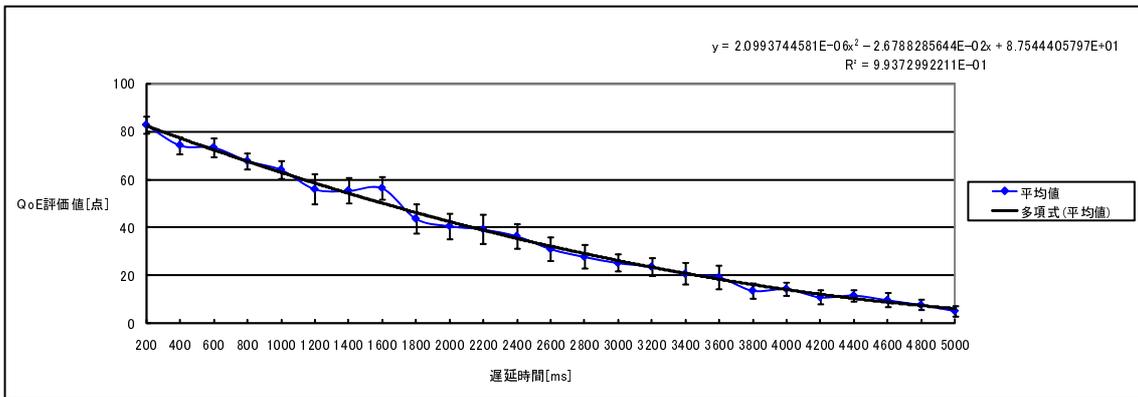


図 4.15: 本実験 2 のデータの二次回帰線

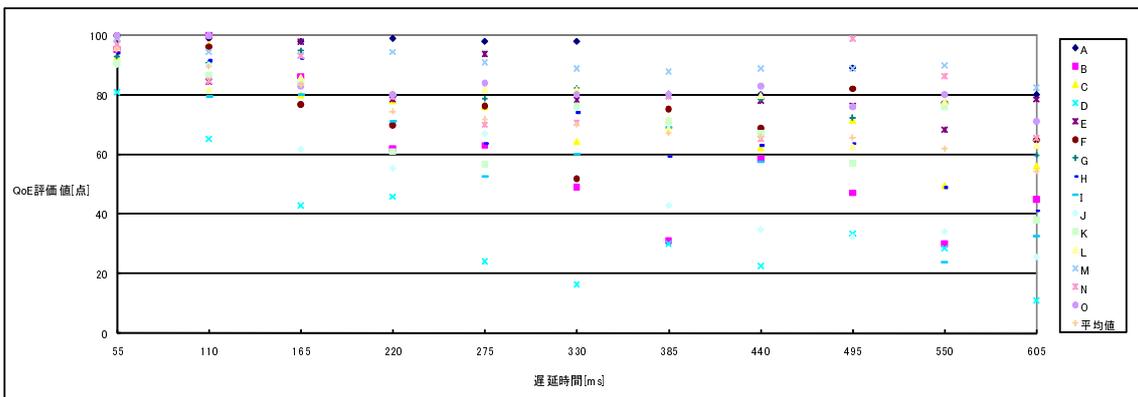


図 4.16: 本実験 2 の修正データの散布図 2

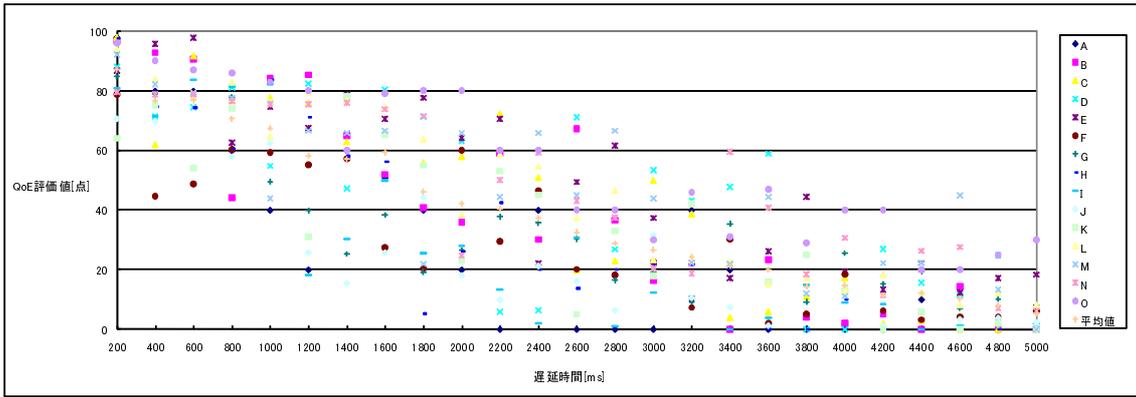


図 4.17: 本実験 2 の修正データの散布図 2

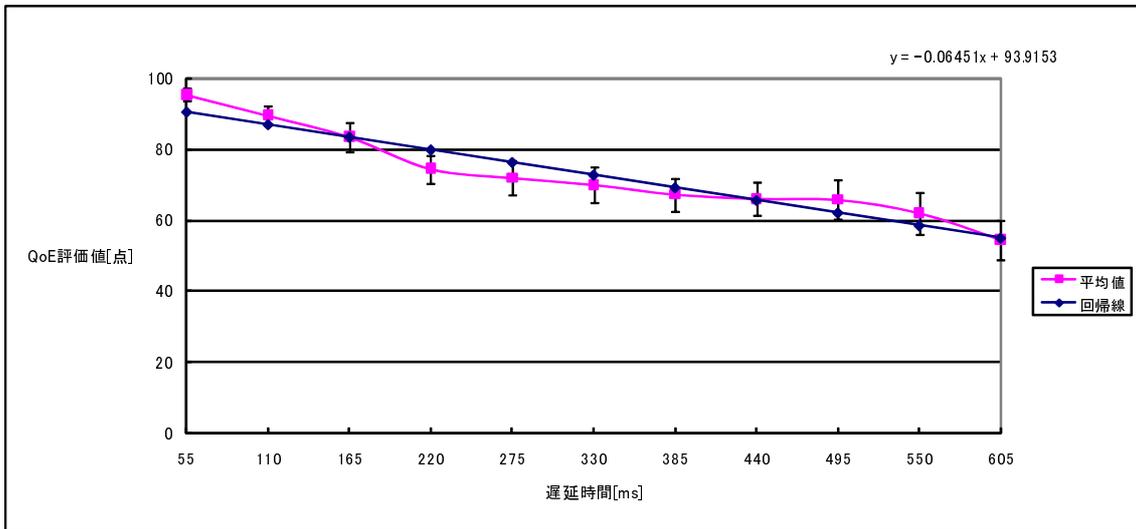


図 4.18: 本実験 2 の修正データの単回帰線 1

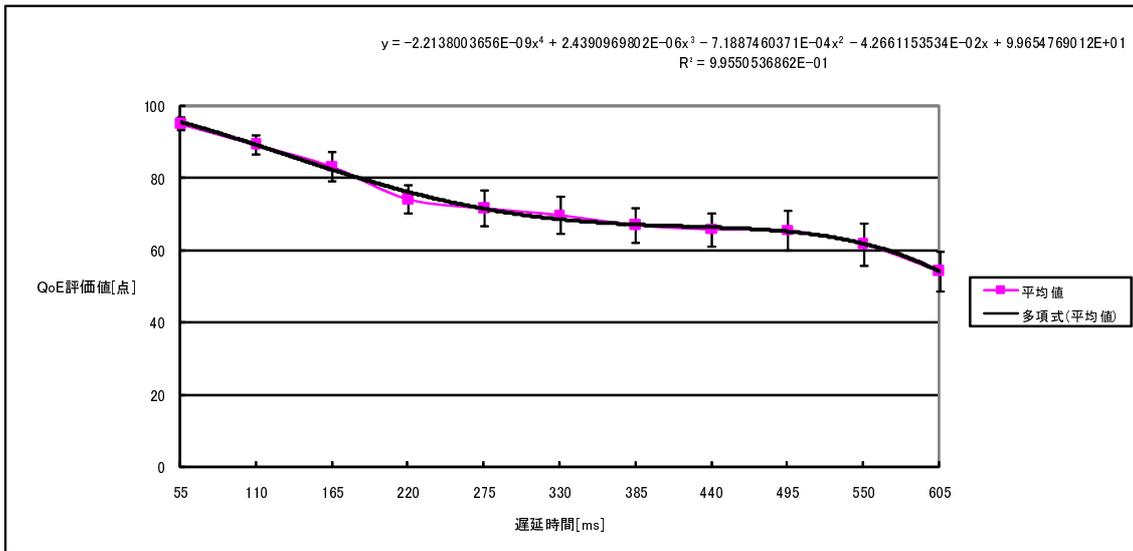


図 4.19: 本実験 2 の修正データの四次回帰線

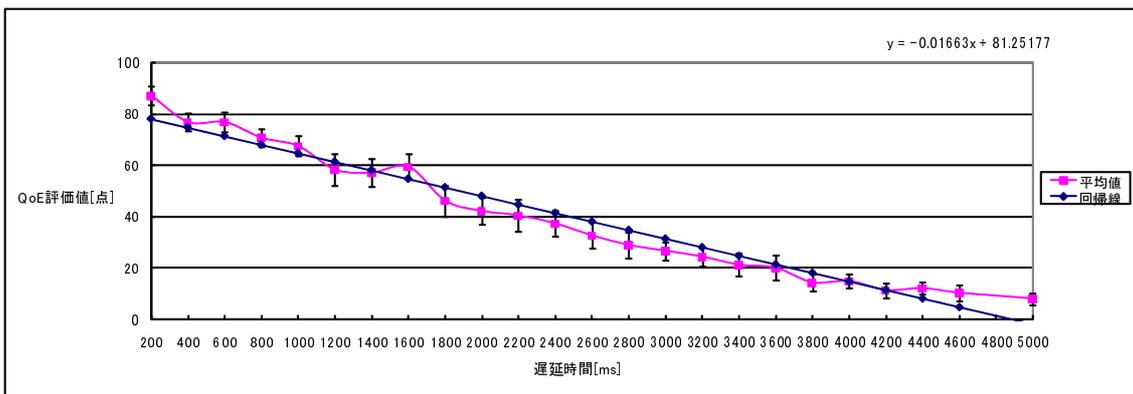


図 4.20: 本実験 2 の修正データの単回帰線 2

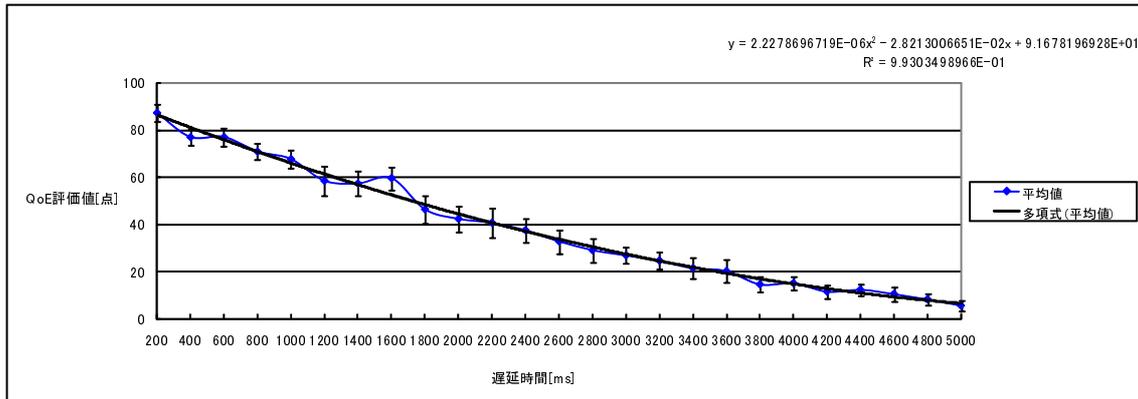


図 4.21: 本実験 2 の修正データの二次回帰線

4.4.3 カテゴリ境界の調査

Excellent や Good, Fair, Poor, Bad といったカテゴリの境界となる点が, 採用した回帰線ならばどのような値となるかを算出した. 算出するに当たり, 二次回帰線には二次方程式の解の公式を, 高次回帰線には参考文献 [7] のベアストウ法を適用した. 以下にベアストウ法の算出方法を示す.

実係数の n 次方程式

$$f(x) = a_0x^n + a_1x^{n-1} + \dots + a_{n-1}x + a_n = 0 \quad (4.3)$$

のすべての根を求める時, ベアストウ法は対象とする式を 2 次式

$$x^2 + px + q \quad (4.4)$$

と $(n-2)$ 次式の積の形に変換することを繰り返して解く方法である. p と q の値を決めるために, その初期値 p_0 と q_0 を与え, $f(x)$ を $x^2 + p_0x + q_0$ で割った余りが 0 になるように, p_0 と q_0 を徐々に修正していく. 具体的なアルゴリズムを以下に示す.

- 1) p_0, q_0 を与え, $k = 1$ とおく
- 2) $b_i = a_i - p_{k-1}b_{i-1} - q_{k-1}b_{i-2}, i = 0, 1, \dots, n, b_{-1} = b_{-2} = 0$
- 3) $c_i = b_i - p_{k-1}c_{i-1} - q_{k-1}c_{i-2}, i = 0, 1, \dots, n, c_{-1} = c_{-2} = 0$
- 4) $D = c_{n-2}^2 - c_{n-3}(c_{n-1} - b_{n-1})$
 $\Delta p = (b_{n-1}c_{n-2} - b_n c_{n-3})/D$
 $\Delta q = (b_n c_{n-2} - b_{n-1}(c_{n-1} - b_{n-1}))/D$
- 5) もし, $|\Delta p| < \epsilon$, かつ $|\Delta q| < \epsilon$ であれば
 A) 2 次方程式 $x^2 + p_{k-1}x + q_{k-1} = 0$ を解く

B) b_0, b_1, \dots, b_{n-2} を新たに a_0, a_1, \dots, a_{n-2} とおき, かつ $n = n - 2$ として 1) へ戻る.
 ただし, n が 1 または 2 の場合はその方程式を解く.

そうでなければ

$$A) p_k = p_{k-1} + \Delta p$$

$$q_k = q_{k-1} + \Delta q$$

B) $k = k + 1$ として 2) へ戻る

これにより表 4.5 のように求まった.

表 4.5: カテゴリ境界値と遅延時間の対応

カテゴリ境界値	遅延時間 [ms]
Excellent	-91
-	288
Good	693
-	1128
Fair	1603
-	2131
Poor	2734
-	3459
Bad	4439

4.4.4 カテゴリ境界値の評価

カテゴリ境界値が正しいかどうかの評価を実際の被験者を用いて行う. カテゴリ境界の調査で求まったカテゴリ境界値と遅延時間の対応表より, 遅延時間を決定し, 遅延をかけた際の被験者の QoE 評価値が, 対応表と同様となるかどうかを見る. これにより同様であるとされたものは正しい回帰線であるといえる.

3 人の被験者に対して, ランダムな遅延時間の配列と, また回帰線は, 被験者別にランダムな順序で選択した. 図 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 が実験結果である. これより, 200[ms] 間隔のデータの二次回帰線が最もよくグラフを表していることが分かった. これより, 以降で回帰線の値を必要とする場合は二次回帰線の値を用いるものとする.

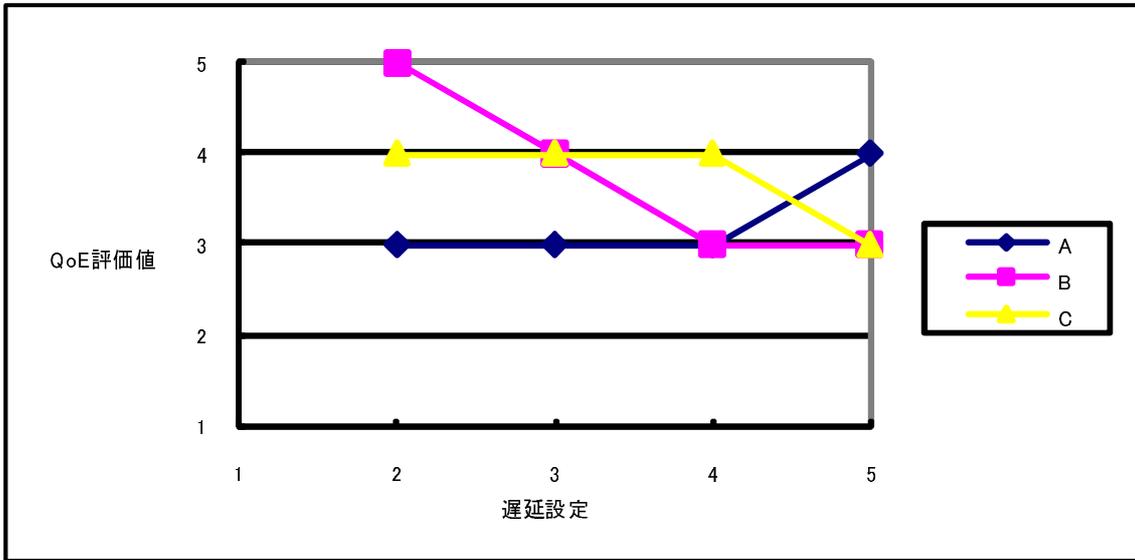


図 4.22: データの単回帰線の評価結果 1

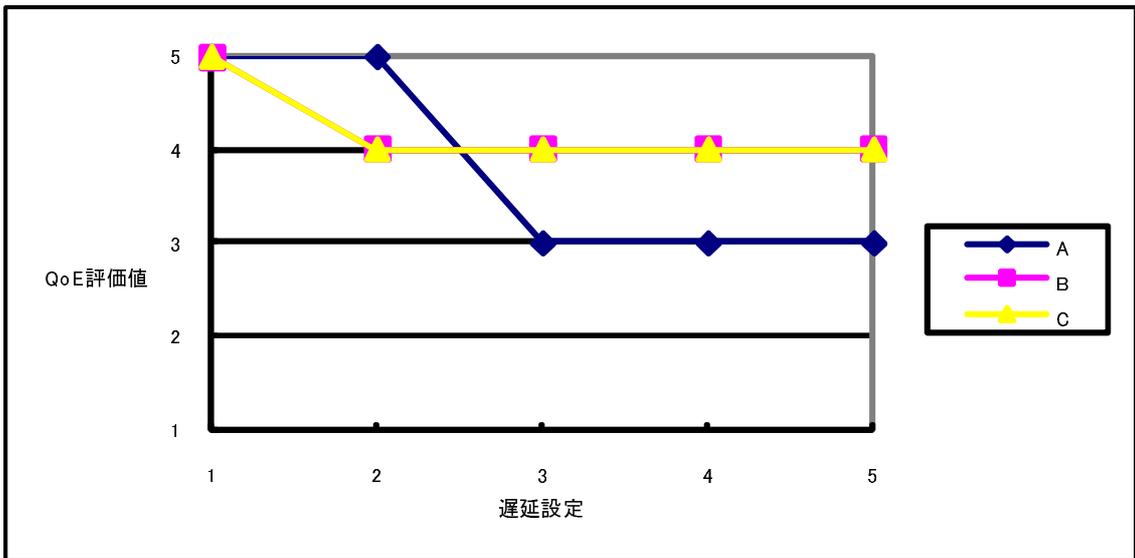


図 4.23: データの五次回帰線の評価結果 1

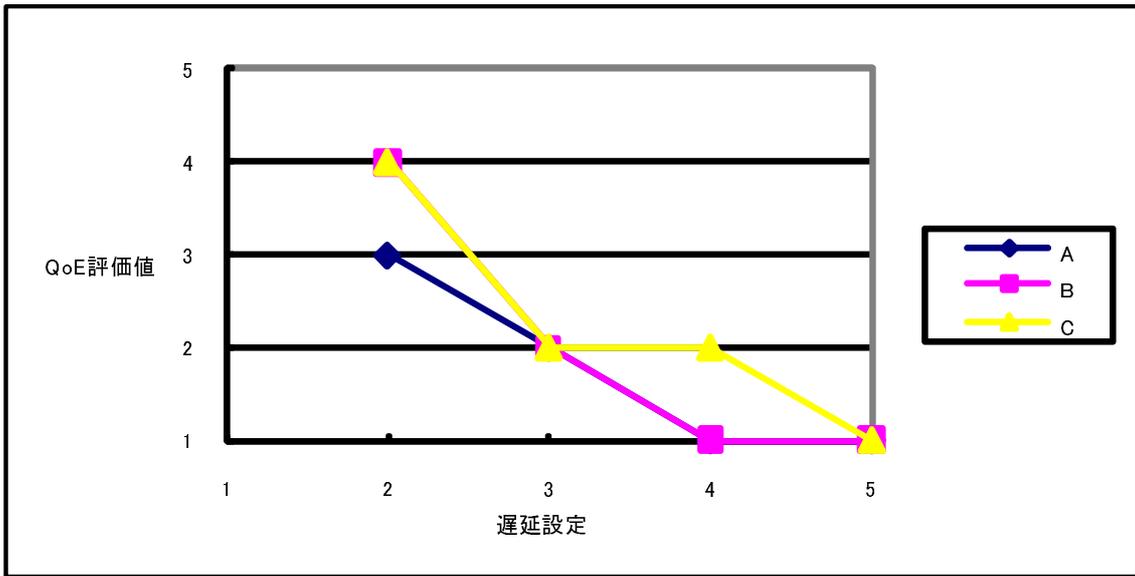


図 4.24: データの単回帰線の評価結果 2

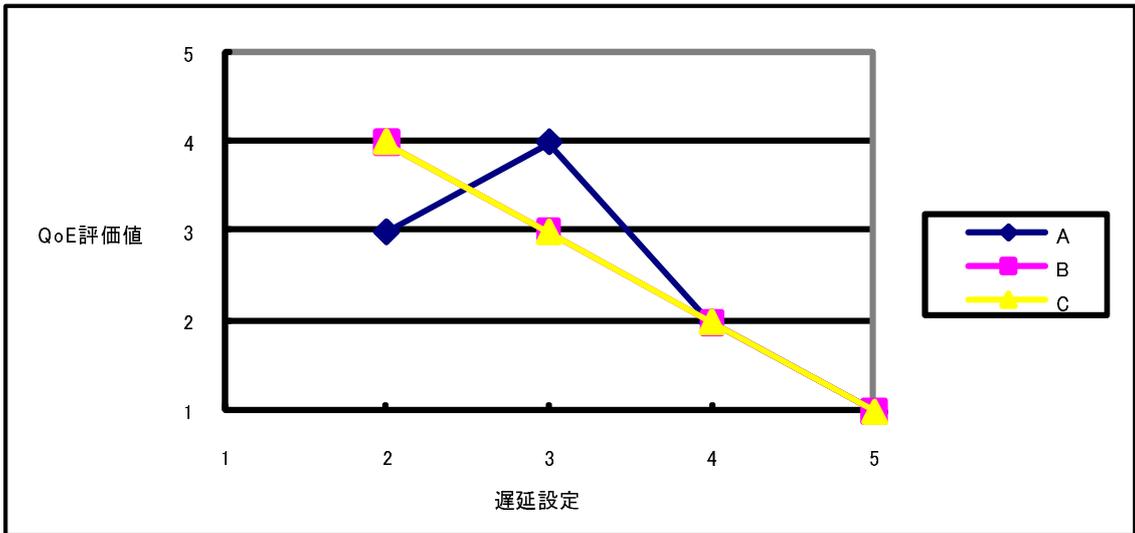


図 4.25: データの二次回帰線の評価結果 2

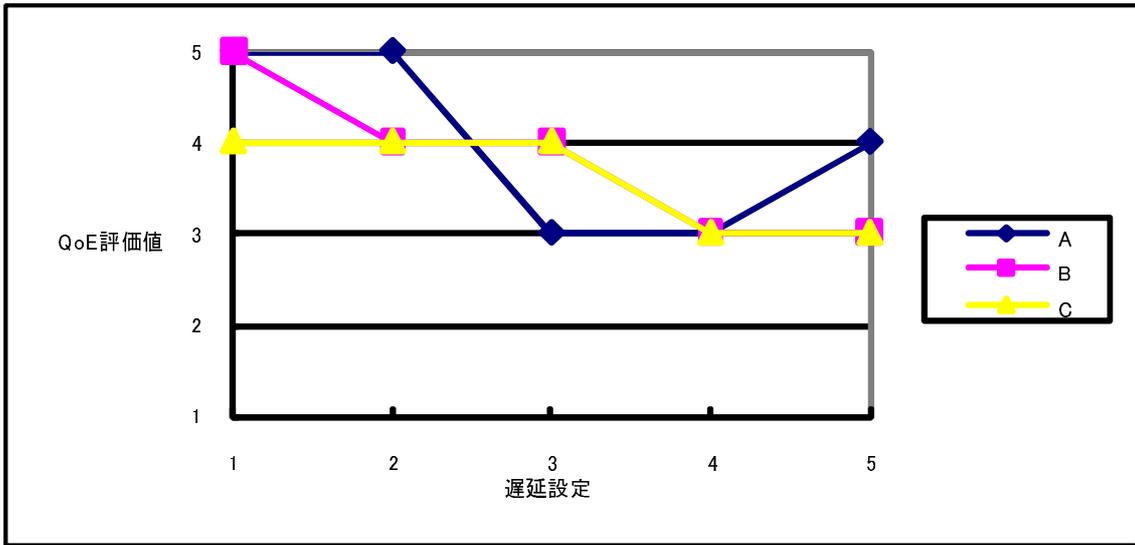


図 4.26: 修正データの単回帰線の評価結果 1

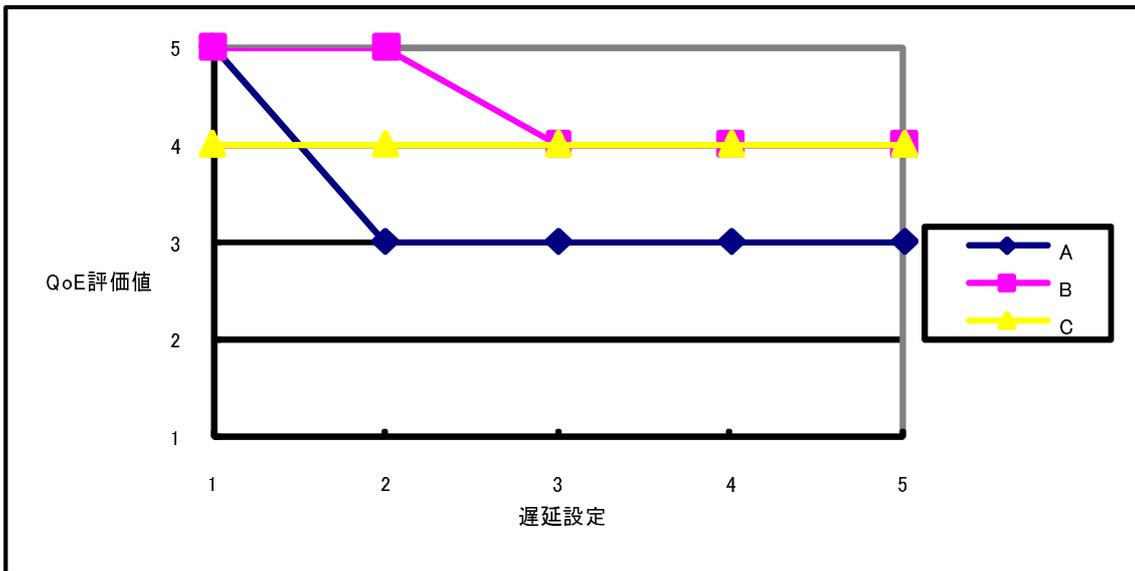


図 4.27: 修正データの五次回帰線の評価結果 1

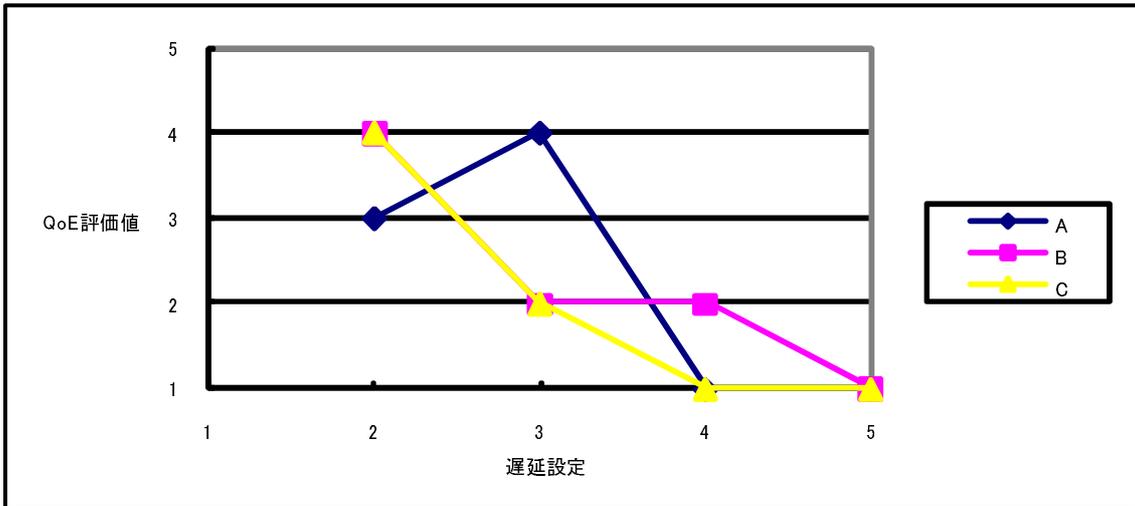


図 4.28: 修正データの単回帰線の評価結果 2

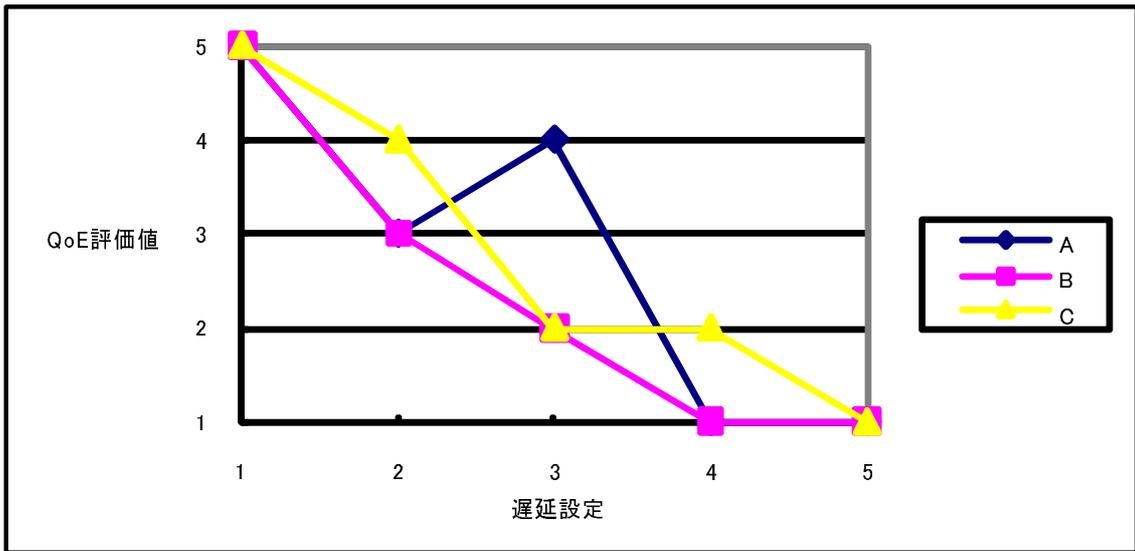


図 4.29: 修正データの二次回帰線の評価結果 2

第5章 QoS実験

5.1 QoS実験について

QoSパラメータとQoE評価値の関係性を求めるために、サービスのモデル化により決定したQoSパラメータについて考え、QoE測定実験で出た値を基にQoSパラメータの測定実験を行う。

この実験で出た結果より、遅延時間がカテゴリ境界値のときにQoSパラメータの値がどういったものを示すのかを調査する。

5.1.1 システムの概要

ネットワークエミュレータによりQoSパラメータを変化させた状態を再現し、そのネットワークを通してTCPによる通信を行う。今回調査対象となるパラメータは図3.31, 3.32のモデル化よりIPTD, IPER, IPLRとなる。この内、IPTDは今回調査する対象である遅延時間そのものであるため対象から外した。そこで、今回調査する対象はIPERとIPLRとなる。各パラメータの値毎に100回パケット送信を行うことにより100個のサンプルを採取するものとし、実験結果の値は100個のサンプルの中央値を使うものとする。

5.1.2 システムの準備

今回、QoSパラメータの値を調べるために簡単なTCP通信を行うアプリケーションを作成し、SunraCloudというネットワークエミュレータを準備した。遅延時間は 10^{-6} の精度まで計測した。以下に遅延時間を測定するために用いたの式を記載する。今回は $(t_3 - t_2)$ が非常に微小な時間であり、計測できなかつたため $(t_3 - t_2) = 0$ として考えた。

ClientからServerに送信される時の時間を t_1 、ServerがPacketを受信した時間を t_2 、ServerがClientに対して応答を送信した時間を t_3 、ClientがServerからの応答を受信した時間を t_4 とし、遅延時間を T とすると

$$T = \frac{(t_4 - t_1) - (t_3 - t_2)}{2} \quad (5.1)$$

5.1.3 実験工程および結果

まず初めにネットワークエミュレータにより QoS パラメータを変化させていない初期状態について実験を行った。表 5.1, tb:LightQoS-Default-IPLR がその結果である。これにより (t3-t2) の値が今回のシステムでは計測できないほど微小であったため今回は考えないものとする。まず何も QoS パラメータを操作していない状態のときの遅延時間が 0.5[ms] であった。次に, IPER を設定してパケットの送信に要する時間を確認した。表 5.1 が IPER と遅延時間を表したデータであり, 図??がその実験結果である。

そして IPLR について実験を行った。IPLR がランダムに起こる割合を 5 ~ 50 % まで 5 % 刻みで計測した。表 5.2 が IPLR と遅延時間を表したデータであり, 図 5.2 がその実験結果である。

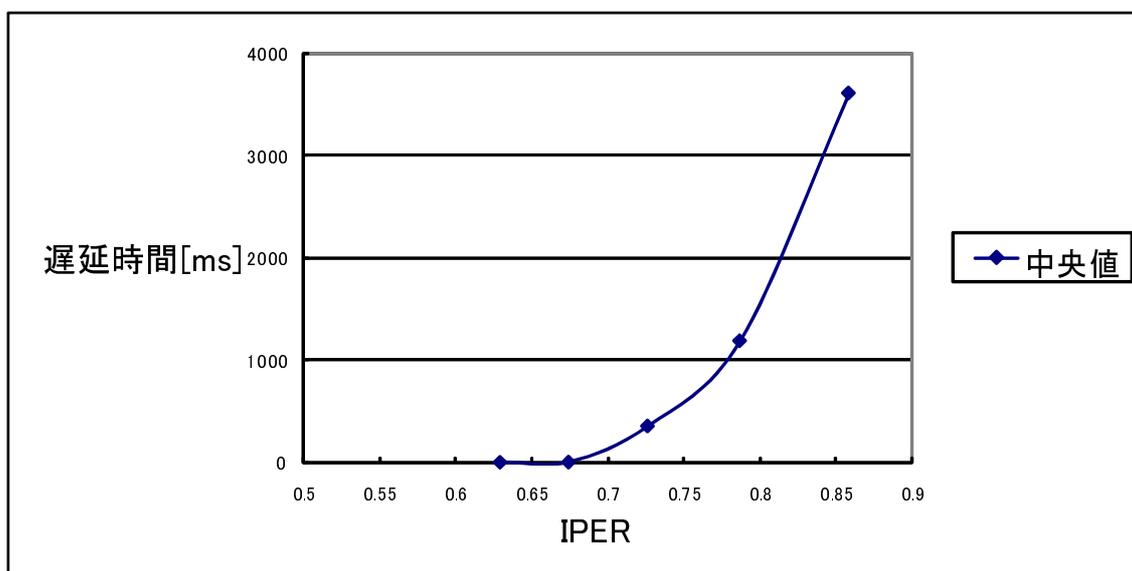


図 5.1: IPER と遅延時間の関係

表 5.1: IPER と遅延時間

IPER	遅延時間 [ms]
0.472	0
0.496842105	1
0.524444444	1
0.555294118	1
0.59	1
0.629333333	1
0.674285714	1.5
0.726153846	355
0.786666667	13140
0.858181818	3602.5

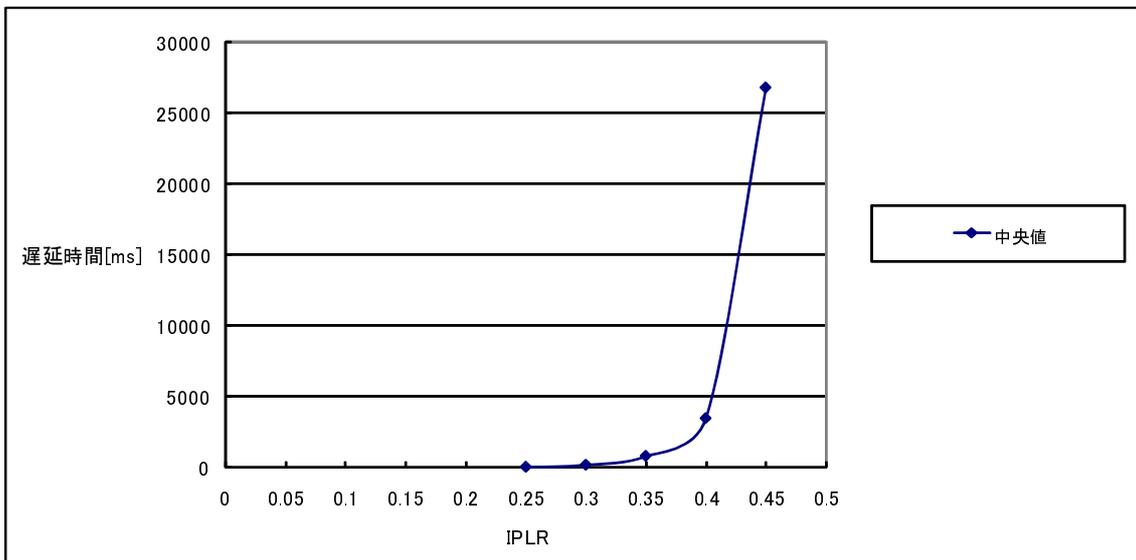


図 5.2: IPLR と遅延時間の関係

表 5.2: IPLR と遅延時間

IPLR	遅延時間 [ms]
0.05	0
0.1	0
0.15	0
0.2	0
0.25	0
0.3	150.5
0.35	777
0.4	3441.25
0.45	26808.75

5.2 QoS パラメータ値と QoE 評価値の対応表の作成

作成した QoS パラメータのグラフより回帰線を求めた。遅延時間が 0.05 から 0.25 までは 0 であったため、0.25 から 0.45 までのデータに関して行った。図 5.4 にグラフと回帰線 を載せた。この回帰線の方程式にベアストウ法を適用することにより以下のような QoE と QoS パラメータの対応表 5.3, 5.4 を作成した。ここで表 5.3 では、回帰線より定規により遅延時間と IPER の関係を計測した。また表 5.4 では、ベアストウ法を用いたプログラムにより解の導出を行った。

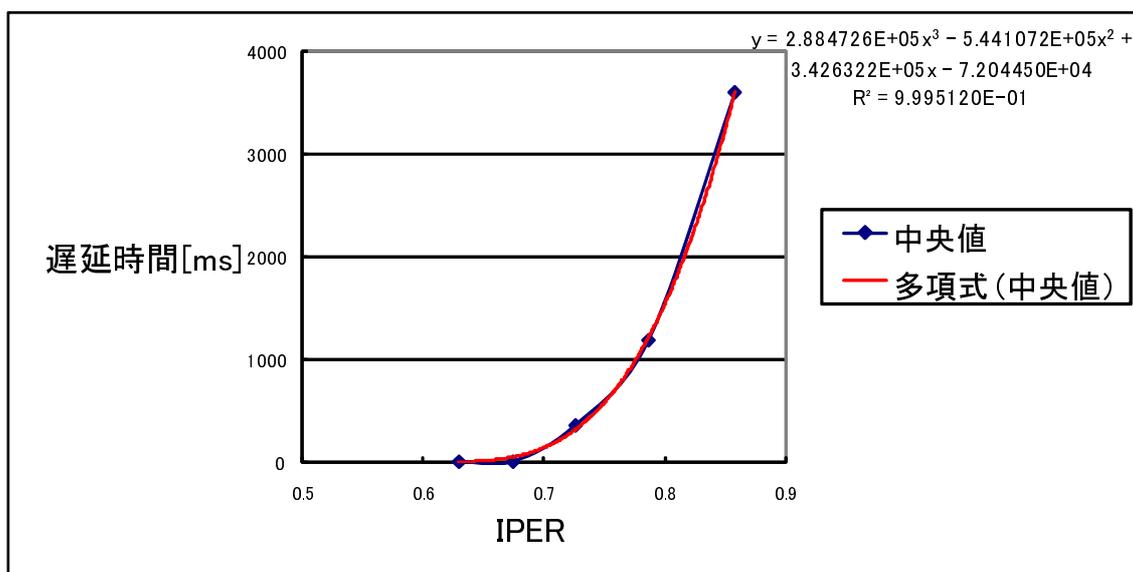


図 5.3: IPER と遅延時間の関係と回帰線

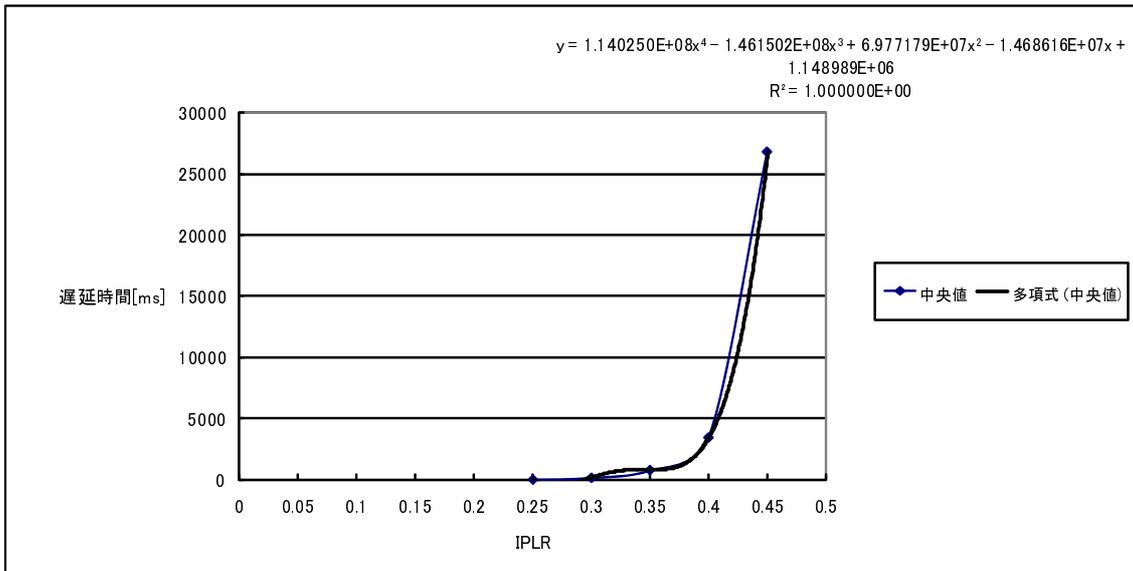


図 5.4: IPLR と遅延時間の関係と回帰線

表 5.3: 照明制御サービスにおける QoE と QoS パラメータの対応

遅延時間 [ms]	IPER
-449	-
-91	-
288	0.722
693	0.758
1128	0.777
1603	0.802
2131	0.820
2734	0.835
3459	0.852
443	0.873

表 5.4: 照明制御サービスにおける QoE と QoS パラメータの対応

遅延時間 [ms]	IPLR
-449.000000	-
-91.017493	-
288.137225	0.304633
692.511982	0.323857
1127.928808	0.376056
1602.868153	0.384432
2130.560944	0.390359
2733.839618	0.395379
3459.168898	0.400121
4438.852006	0.405242

また, 遅延時間の少数点以下第一位を四捨五入してまとめたものを表 5.5 に載せた.

表 5.5: 照明制御サービスにおける QoE と QoS パラメータの対応

QoE	遅延時間 [ms]	IPER	IPLR[%]
Excellent	-91	-	-
-	288	0.722	0.304633
Good	693	0.758	0.323857
-	1128	0.777	0.376056
Fair	1603	0.802	0.384432
-	2131	0.820	0.390359
Poor	2734	0.835	0.395379
-	3459	0.852	0.400121
Bad	4439	0.873	0.405242

第6章 考察

本研究ではホームネットワークにおける機器およびサービスの分類分けを行い, QoE および QoS の関係を考えた. そして照明制御サービスにおける QoE 実験を行った後, QoS 実験を行った.

これより, 照明制御サービスにおいてユーザーは少し遅延が発生しただけでは, ほとんど遅延がない状態との違いには気づかず遅延時間が 693ms 付近では違和感を感じ, 1603ms 付近までは通常使う照明制御サービスとして問題ないということが分かった. また, QoS パラメータに関しては IPER は 1 % 以下ではほとんど影響を及ぼさず, IPLR に関しては約 32 % のときに QoE の Good, 38 % のときに Fair, 40 % のときに Poor, 41 % のときに Bad を示し, 25 % までの損失率では影響を与えないことが分かった. これよりユーザーが違和感を感じずに照明制御を行うサービスを実現するためには, 遅延時間としては 693ms 以下であり, QoS パラメータとしては IPER が 0.758, IPLR が 32 % 以下でなければならないといえる.

しかし, ITU-T Y.1541 勧告より, 宅外を含んだネットワークの QoS に関する規定として, クラス 1 から 4 では $IPER = 1 * 10^{-3}$, $IPLR = 1 * 10^{-4}$ とされている. また, 通常 IPLR が 30% を超えるという状況は頻発することではなく, これらの状況が起こる可能性は非常に低いといえる.

また, 今回は QoS パラメータを変化させたときの遅延時間の測定のために TCP を用いたが, UDP を用いた場合, ロスしたパケットは再送要求されないため宛先に届くことはなく, 今回行った実験とは異なる実験方法が必要となり, 実験結果として異なる結果が出るということが考えられる.

第7章 終わりに

7.1 まとめ

本研究では、ホームネットワークにおける制御系アプリケーションに対する QoE および QoS の関係を求めた。ホームネットワークの機器やサービスの分類分けを行い、それらについて QoE および QoS パラメータの関係をモデル化をすることにより考えた。これより、本研究では制御系アプリケーションを対象とした。また QoE および QoS の実験方法を提案し、実験に必要となるアプリケーションや機器の作成を行った。QoE に関しては予備実験と本実験を二回行い、結果として現れたグラフに対して、どの回帰線が適切であるのか評価を行った。また評価を行う際に必要となったカテゴリ境界値に関しては、算出的に求めた。QoS に関してはネットワークエミュレータを用いることにより計測実験を行った。これらの結果より QoE と QoS の関係性を求めた。

7.2 今後の課題

今後の課題としては、今回扱ったホームネットワークのアプリケーション以外のアプリケーションについても調査を行うことが必要である。また、ストリーミングサービスを対象とした実験に関しては実験データの採取までに至らなかったため、これについても行う必要がある。

第8章 謝辞

本研究を進めるにあたり, 研究の方向性について指針を与えて下さるとともに熱心にご指導ご助言を頂きました丹康雄教授に深く感謝致します.

そして, 研究生生活を共にし, また研究に関してサポートして下さった丹研究室の皆様へ感謝し, 実験に協力して下さった他の研究室の方々, そして M2 の友人達に深く感謝致します.

付録A ホームネットワークサービス分類表

住宅設備+情報機器	非常呼出	センサ情報/配信
	通報機能	
	緊急スケジュールサービス	コンテンツ共有
	伝言メールサービス	メール通知
	ワンボタンメール送信	
住宅設備+白物家電	警戒状態セット	機器の遠隔操作
	床暖房ON/OFF確認・操作	
	おやすみ一括設定(防犯セキュリティ、消灯、窓や玄関の施錠)	機器の遠隔操作
	おでかけ一括設定(防犯セキュリティ、エアコンや照明のオフ)	センサ情報の通知
	接点出力(自動的にスイッチのON/OFF、開閉を行う)	機器の遠隔操作
情報機器+白物家電	エアコンの遠隔操作・確認	メール通知
	エアコンなどの情報がPC(TV)に表示されないときに、サービスセンターへメールで報告	センサ情報の通知
	みまもりサービス(臭気代種算)	メール通知
	着メロ、メニュー登録	コンテンツ配信 / コンテンツ共有
AV機器+住宅設備+情報機器	インターホンによる不在時の来訪者の静止画像通知(メール)	
	各種防犯、防災センサ情報の異常通知(メール)	
	玄関扉のICカードリーダーによる帰宅確認(メール)	カメラ画像通知
	宅配ボックスによる宅配通知(メール)	
	来客・敷地侵入者録画	
	みえます、ねっと	
	宅内モニタ	
	電子錠の遠隔操作・確認	機器の遠隔操作
	給湯器遠隔操作	
	ネットワークカメラのセンサログを通知	センサ情報の通知
AV機器+情報機器+白物家電	照明の遠隔操作・確認	機器の遠隔操作
	床暖房遠隔操作	
	冷蔵庫の庫内(食材)管理	センサ情報の通知
	冷蔵庫内のペットボトルの本数管理	
AV機器+住宅設備+情報機器+白物家電	カーナビによる携帯電話のホーム家電制御	機器の遠隔操作
情報機器+ヘルスケア	故障診断	センサ情報の通知/コンテンツ配信
	生活リズム確認	
	カラダのみほり番ネット	

付録B QoE測定用シートの見本

NAME _____

[

]

[

]

[

]

A

B

A

B

A

B

Excellent

Good

Fair

Poor

Bad

[

]

[

]

[

]

A

B

A

B

A

B

Excellent

Good

Fair

Poor

Bad

参考文献

- [1] 坂野良輔, ホームネットワークにおけるユーザー行動のモデリングに関する研究, 2008/03
- [2] ITU-T Y.1541
- [3] ITU-R BT.500
- [4] 木内雄二, 電子画像評価法, 日本テクノセンター, p.264-277, 2006/09/03
- [5] H.264 — MPEG-4 AVC 画質評価報告(案) 社団法人電波産業会, 2006/05/29
- [6] Excel 統計解析 -回帰分析編, 1996/06/10
- [7] http://www.sist.ac.jp/~suganuma/kougi/other_lecture/SE/num/num.html