

災害時における無線メッシュネットワークを用いた 孤立無線ネットワーク復旧手法の提案

永井 順也

企業や家庭で無線によるネットワークが増加しており、複数の無線アクセスポイント(AP)でネットワークを構成している場合もある。この複数APから構成される無線ネットワークに障害が発生し、無線APがインターネットから孤立した場合、孤立した無線APに接続する無線クライアントは、近くにインターネットに接続できるアクセスポイントがあったとしても、孤立した無線APに接続し続けてしまう問題がある。本提案では、我々が無線メッシュネットワークの一実現方式として研究を行っているWAPL(Wireless Access Point Link)を用いてこの問題を解決し、ネットワークを復旧する方法を提案する。

Proposal of method of restoring wireless isolation network at the disaster where wireless mesh network was used

Junya Nagai

The network by the wireless increases at the enterprise and home, and the network might be composed of two or more wireless access points (AP). When the trouble occurs in the wireless network composed of two or more of this AP, and wireless AP is isolated from the Internet, The wireless client connected with isolated wireless AP has the problem that keeps being connected with isolated wireless AP even if there is an access point that can hook up to the Internet to be near. In this proposal, this problem is solved by using WAPL(Wireless Access Point Link) that we are researching as one achievement method of the wireless mesh network, and it proposes the method of restoring the network.

1. はじめに

災害等の被害により、ネットワークが破壊され、外部との通信が不能の状態になるという状況が考えられる。このとき、対象を無線ネットワークに限定すると、無線ネットワークのAPを接続する有線ケーブルが切断されるという状況が考えられる。このとき、無線端末が孤立したAPに接続し続け、外部ネットワークとの通信機会を失ってしまうことが懸念される。本稿では、我々が無線メッシュネットワークの一実現方式として研究を行っているWAPL(Wireless Access Point Link)[1][2]を拡張して、無線APの孤立した状態を素早く復旧させ、無線端末を元のネット

ワークや、外部ネットワークに接続する方法を提案する。

2. ネットワーク障害のケース分け

本提案方式が対象とするネットワーク障害の種類を3種類に分けた。ネットワーク障害のケース分けを図1に示す。障害ケース1は端末が所属するネットワークのAPとデフォルトゲートウェイの間に障害が発生した場合で、一部の無線端末がネットワークから孤立する。障害ケース2はデフォルトゲートウェイが壊れた場合で、すべての端末が通信不能となる。障害ケース3はデフォルトゲートウェイと他のネットワークの間に障害が発生した場合で、

ネットワーク内の通信は可能. 外部への通信ができなくなる.

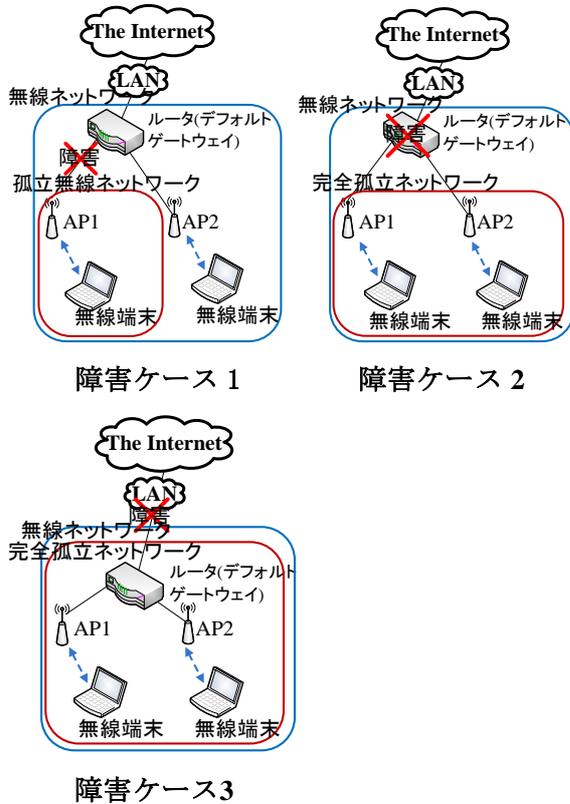


図1 ネットワーク障害のケース分け

障害ケース 1~3 の場合のケース別通信状況を表 1 に示す. この表に示した通信状況の違いから, ネットワーク管理者は復旧方法を決める.

表 1 ケース別通信状況

	障害ケース1	障害ケース2	障害ケース3
内部への通信	一部不可	全て不可	全て可
外部への通信	一部不可	全て不可	全て不可

本研究では, ケース 1 によって孤立した AP に接続するネットワークを孤立無線ネットワーク, ケース 2 によって孤立した AP に接続するネットワークを完全孤立ネットワークと呼称する. 本提案方式では, ケース 1, 2 を対象として WAPL の提供するメッシュネットワークによって復旧する.

3. WAPL

3.1 概要

WAPLの概要を図2に示す. WAPLではWAPL独自のAPをWAP(Wireless Access Point)と呼称する. WAPはインフラストラクチャモードとアドホックモードの無線インタフェースを持つ. インフラストラクチャモードのインタフェースは一般のAPと同様に無線端末と接続する. アドホックモードのインタフェースはWAP同士でアドホックネットワークを形成する. 無線端末は離れた通信相手に対して, WAPを中継して通信することができる. 無線端末が通信を開始する前に, WAPと無線端末の対応関係(以下, マッピング情報)がわかっている必要がある. WAPLではこのマッピング情報をオンデマンドで生成する. 無線メッシュネットワーク環境では, 通信をせずにWAPに接続しているだけの端末が多く存在することが想定できるため, WAPLで採用するオンデマンドでマッピング情報を生成する方式は制御パケットの負担が少ない. また図3に示すように, WAPLではWAP間で形成するアドホックネットワークのルーティングプロトコルはWAPLの機能から独立しており, MANETのルーティングプロトコルから自由に選択できる. また, 端末が移動してもパケットロスのないシームレスなハンドオーバーを実現できる[1].



図2 WAPLの概要

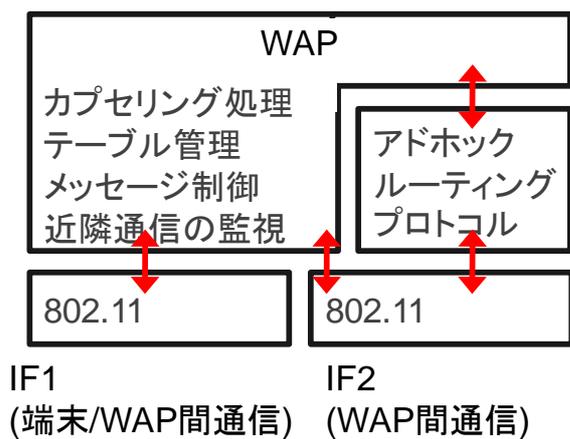


図3 WAPLのアーキテクチャ

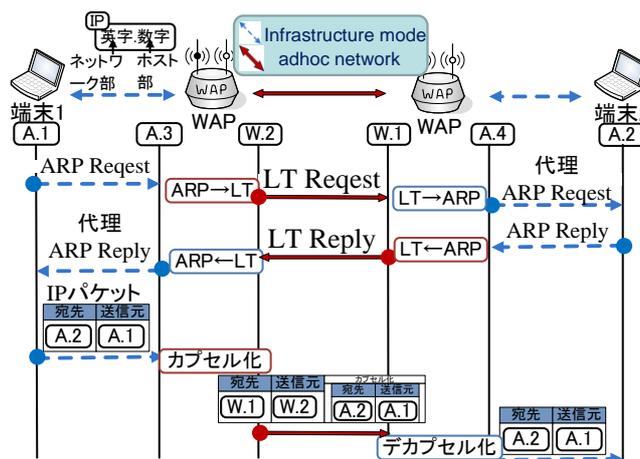


図4 LTの生成シーケンス

3.2 通信方式

3.2.1 リンクテーブル(LT)

WAPは無線端末が通信開始する際のARP処理をトリガとして、WAPと無線端末のマッピング情報をWAP間で交換し、LT(Link Table)に記録する。LTの生成シーケンスを図4に示す。WAPは配下の端末1からのARP要求を受信すると、他のWAPへLT生成要求メッセージをフラッディングする。LT生成要求メッセージには探索端末のIPアドレスと送信元端末のIPアドレスとMACアドレスが記載されている。LT生成要求メッセージを受信したすべてのWAPは自身のLTに送信元端末と送信元WAPのIPアドレスの対応関係を記述する。配下に目的の探索端末が存在することを検出したWAPは、ユニキャストで送信元WAPにLT応答メッセージを返す。LT応答メッセージには探索端末と送信元端末のIPアドレスとMACアドレスが記述されており、LT生成要求メッセージの送信元WAPはLT応答メッセージを受け取ると、自身のLTに探索端末と、その端末が所属するWAPのIPアドレスの対応関係を記述する。以上の動作により、互いのWAPにLTが生成され、以後のデータパケットはWAP間のアドレスによりIPカプセル化されて中継される。

4. 提案方式

4.1 R-WAP

提案方式では、インターネットから孤立したAPとそれが所属する孤立ネットワークをWAPLが提供するネットワークを介して元のネットワークに復旧させる。孤立ネットワークとWAPLの接続はWAPが孤立APの配下端末となることで確立する。これを実現するため、WAPにAP配下端末として接続できる機能(無線クライアント機能)を新たに追加した。このAPの配下端末となるWAPをR-WAP(Relaying Wireless Access Point)と呼称する。R-WAPの機能を図5に示す。R-WAPはアドホックモード、インフラストラクチャモード(無線AP機能)、インフラストラクチャモード(無線クライアント機能)の3種類の無線インタフェースを持つ。自身を無線クライアントとして無線アクセスポイント(AP)と接続することで、他の無線端末の通信を中継する。アドホック側(WAPLネットワーク)のネットワーク設定はMANETのルーティングプロトコルによって自動的に設定される。R-WAPの接続先の無線ネットワークにDHCPがあれば、インフラストラクチャ(クライアント)側のネットワーク設定は自動で設定できる。新たな経路の生成は端末からの

ARP を中継することで実現する。ネットワーク上の端末は宛先と通信するとき、宛先への経路を探すための ARP 要求メッセージを出す。このとき、ARP 要求は無線 AP を通って AP の配下にある無線端末が受信できる。R-WAP はこの ARP 要求を AP の配下端末として受信し WAPL ネットワークを介して中継することで新たな経路を生成する。

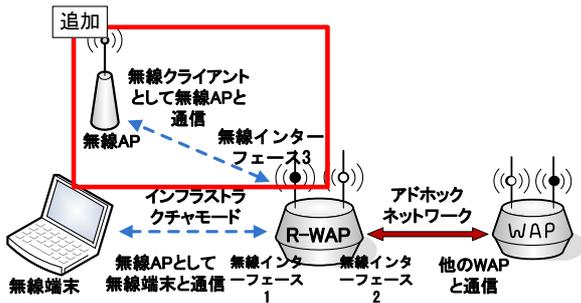


図 5 R-WAP の機能

4.2 障害ケース 1

本提案方式の対象となるネットワークは複数の無線 AP で構成される。障害発生後のネットワークの例を図 6 に示す。ネットワークに障害が発生すると、デフォルトゲートウェイとインターネットにつながる「元の無線ネットワーク」とインターネットから孤立してしまった「孤立無線ネットワーク」に分断される。

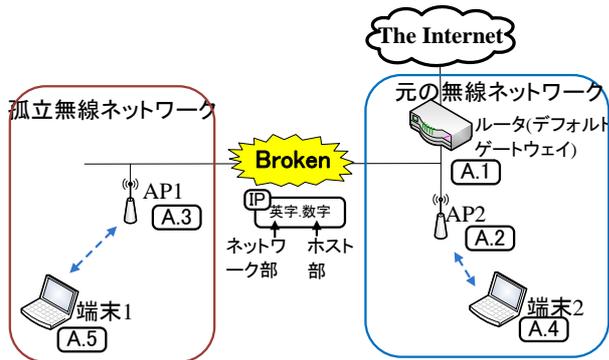


図 6 障害発生後のネットワーク

本提案方式によって復旧したネットワークの構成例を図 7 に示す。R-WAP を、復旧させたい孤立無線ネットワークと元の無線ネットワークのそれぞれに無線 LAN クライアントと

して AP の配下に設置する。R-WAP 間の接続、ネットワーク設定は MANET のルーティングプロトコルにより自動で行われる。復旧対象のネットワークのどちらかに DHCP サーバがあれば WAP のインフラストラクチャ側のネットワーク設定は自動で行うことができる。R-WAP はインフラストラクチャ側とアドホック側の両方に DHCP 探索メッセージを送信し、DHCP サーバが存在すれば無線 LAN クライアントインタフェースの IP アドレスとデフォルトゲートウェイの IP アドレスを取得することができる。R-WAP の使用者は接続したい AP を指定するだけでよい。接続先の AP には何も手を加える必要がない。DHCP サーバによるアドレスの取得が失敗した場合はデフォルトゲートウェイのアドレスを手動で設定する必要がある。

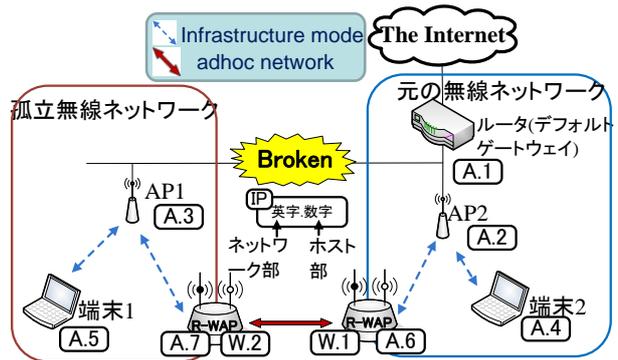


図 7 復旧後のネットワーク

経路生成とパケットの中継シーケンスを図 8 に示す。経路生成は通常の WAPL と同様に ARP をトリガにして、LT を生成することで実現する。R-WAP は AP を介して端末からの ARP 要求を受信すると、他の R-WAP へ LT 生成要求メッセージをフラディングする。LT 生成要求メッセージを受信したすべての R-WAP は自身の LT に送信元端末と送信元 R-WAP の IP アドレスの対応を記述し、R-WAP の無線クライアントインタフェース側から AP へ向けて、代理で ARP 要求をブロードキャストする。探索端末からの ARP 応答を受信した R-WAP はユニキャストで LT 生成

要求メッセージの送信元 R-WAP に LT 応答メッセージをユニキャストで送信する。送信元 R-WAP は LT 応答メッセージを受け取ると、自身の LT に探索端末と、その探索端末を配下に持つ R-WAP の IP アドレスの対応を記述し、ARP 要求の送信元端末へ向けて無線クライアントインタフェース側から AP を介して ARP 応答を送信する。以上の動作により、互いの R-WAP に相手端末への LT が生成され、以後のデータパケットは R-WAP 間のアドレスにより IP カプセル化されて中継される。

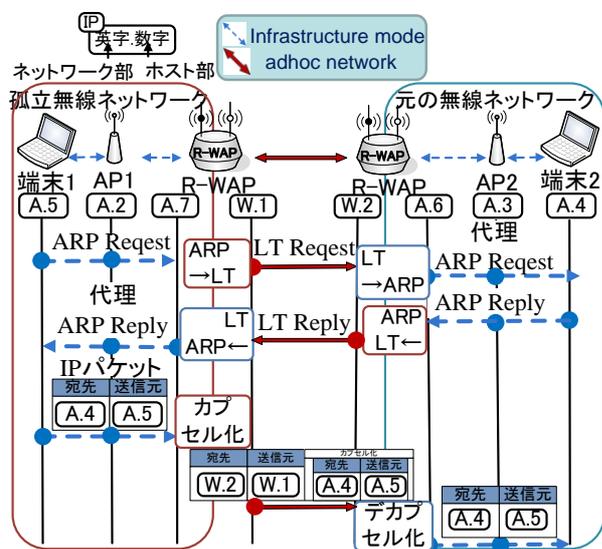


図 8 経路生成とパケット中継シーケンス

4.3 障害ケース 2

4.3.1 別のネットワークを利用した復旧

孤立無線ネットワークの元のネットワークが壊滅した場合、元のネットワークとは別のネットワークを使って外部ネットワークに接続する必要がある。本提案方式で対象となる孤立ネットワークの構成例を図 9 に示す。構成例では企業内のネットワークの一部に障害が発生したという状況を想定して復旧の方法を述べる。ネットワーク A は外部ネットワークに繋がるルータ(デフォルトゲートウェイ)を破壊された完全孤立ネットワーク、ネットワーク B はネットワーク A の近隣にある異なるネットワークアドレスを持つ健全ネットワー

クである。完全孤立ネットワーク A を外部ネットワークに接続するために R-WAP をネットワーク A、ネットワーク B の無線 AP の配下にそれぞれ無線クライアントとして設置する。

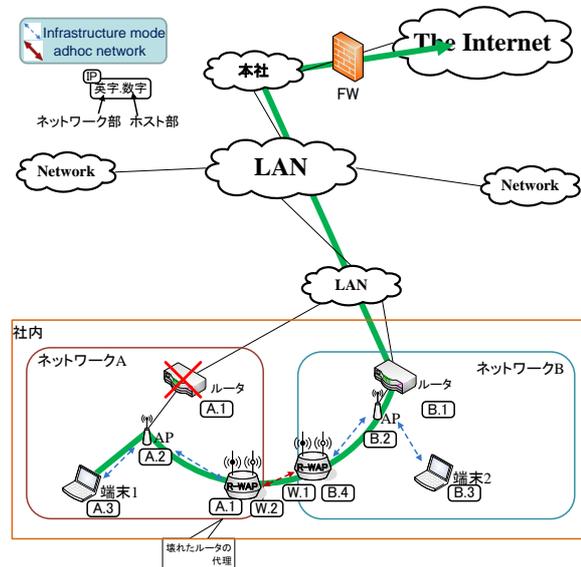


図 9 完全孤立ネットワークの構成例

4.2 のように、孤立無線ネットワークと元のネットワークを接続する場合は、両側の R-WAP の動作が同じであるため、接続先のネットワークの識別は必要ない。しかし、図 9 に示す完全孤立ネットワークを外部ネットワークに接続する場合は、完全孤立ネットワークに接続する R-WAP と、外部ネットワークに接続する R-WAP の動作を分ける必要がある。そのため R-WAP に接続するネットワークを識別するための初期動作を追加する。AP の配下に設置後の R-WAP の初期動作を図 10 に示す。接続先のネットワークに DHCP サーバがあれば R-WAP はインフラストラクチャ側のネットワーク設定を自動で行う。DHCP サーバがなければネットワーク管理者が手動でネットワーク設定を行う。次に R-WAP はデフォルトゲートウェイの有無を確認するためにデフォルトゲートウェイに向けて ICMP/ECHO(ping)を送信する。ping が戻ってきたら、外部ネットワークに接続可能かを確

認するために、デフォルトゲートウェイを経由して事前にインターネット上に設置してあるインターネット接続確認用のサーバへ http 通信で接続する。サーバに接続できたなら、R-WAP は接続先のネットワークを健全ネットワークと判断する。

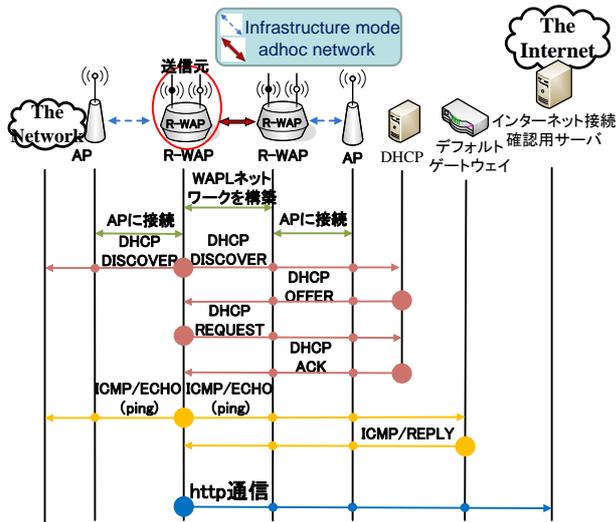


図 10 R-WAP 初期動作

健全ネットワークに接続した R-WAP は以後 GR-WAP(Gateway Relaying Wireless Access Point)として動作を行う。R-WAP の初期動作から GR-WAP になるまでの動作を図 11 に示す。

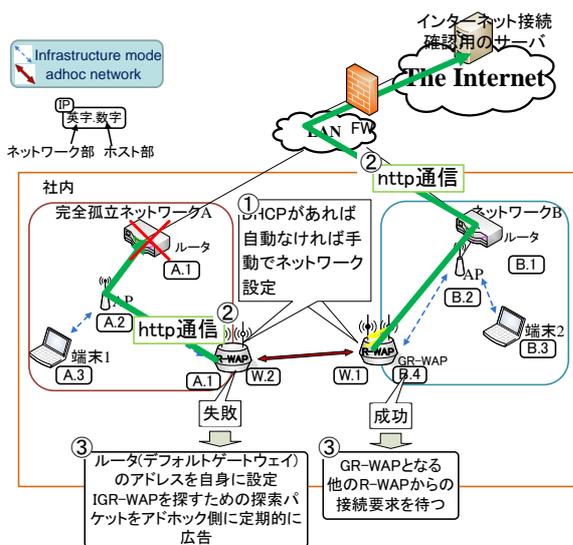


図 11 R-WAP 初期動作から GR-WAP になるまでの動作

4.3.2 GWAP を利用した復旧

災害時、近くに利用できる健全ネットワークがない場合を想定して、完全孤立ネットワークをインターネットに接続する機能を有する WAP を使ってインターネットに接続する方式を提案する。インターネット接続機能を有する WAP を GWAP と呼称する。ネットワーク A は外部ネットワークに繋がるルータ(デフォルトゲートウェイ)を破壊された完全孤立ネットワークである。完全孤立ネットワーク A を外部ネットワークに接続するために R-WAP をネットワーク A の AP に接続する。R-WAP は WAPL ネットワークを介してパケットを GWAP へと中継する。GWAP はインターネットに接続し、完全孤立ネットワークに存在する端末 1 はインターネットとの通信が可能となる。

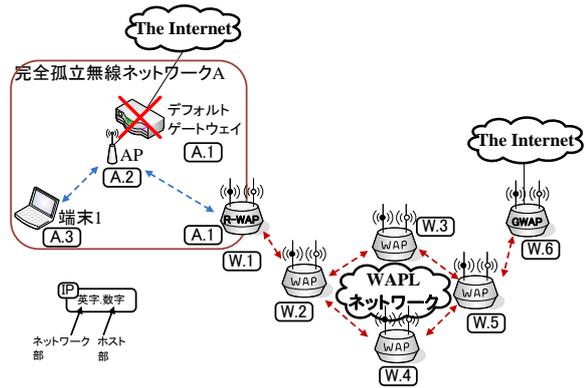


図 12 GWAP を利用したネットワークの復旧

R-WAP の実装

R-WAP のモジュール構成を図 13 に示す。無線端末側に接続するモジュールを市販の無線 AP、WAP 側に接続するモジュールをノート PC 内蔵の無線デバイス、R-WAP のメインモジュールをノート PC に実装し、両者を Ethernet で接続。無線 AP 側に接続するモジュール(無線クライアント機能)を市販の無線クライアントカードを追加することで実装した。R-WAP のメインモジュールは、カプセル化

モジュール、LT モジュール、パケットの解析・判断モジュール、により構成される。R-WAP のメインモジュールは WAP のプログラムを元にして、追加した無線クライアントカードを扱うためのソケットの追加、受信したパケットの解析と判断を行う部分の動作の変更を行った。WAP のプログラムの内部構成と R-WAP の実装の際に変更した箇所を図 14 に示す。

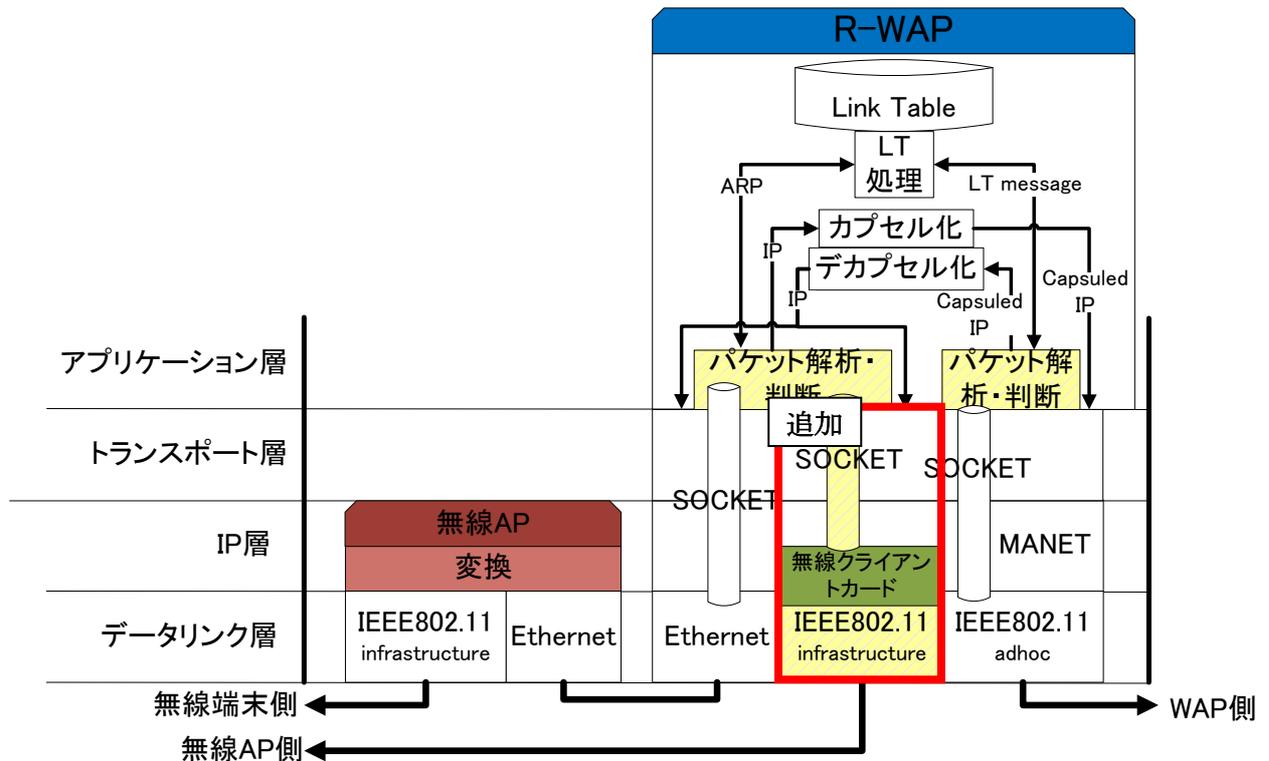


図 13 R-WAP モジュール構成

無線デバイス名を取得する wapl_conf に追加した無線クライアントのデバイス名を追加するほうに変更. WAPL のメインプログラムの初期化を行う wapl 関数に無線クライアントカードを認識させるためのソケットを追加. 無線デバイスを登録する無線クライアントカ

ードと関連付けを行い, パケット解析・判断部分である receive_ether, WAPL_infra, wapl_adhoc 関数にパケットを無線クライアントカードで受信した場合, 送信するソケットを変更する処理を追加した.

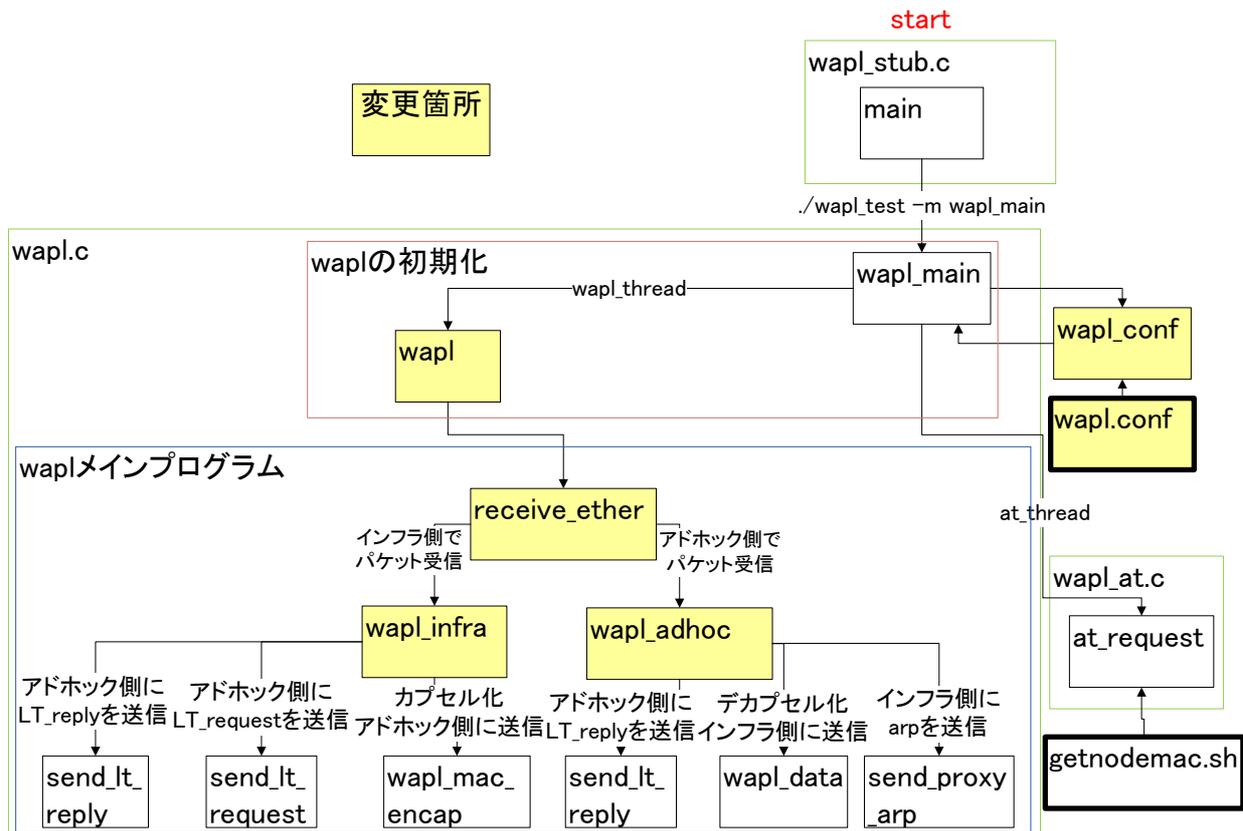


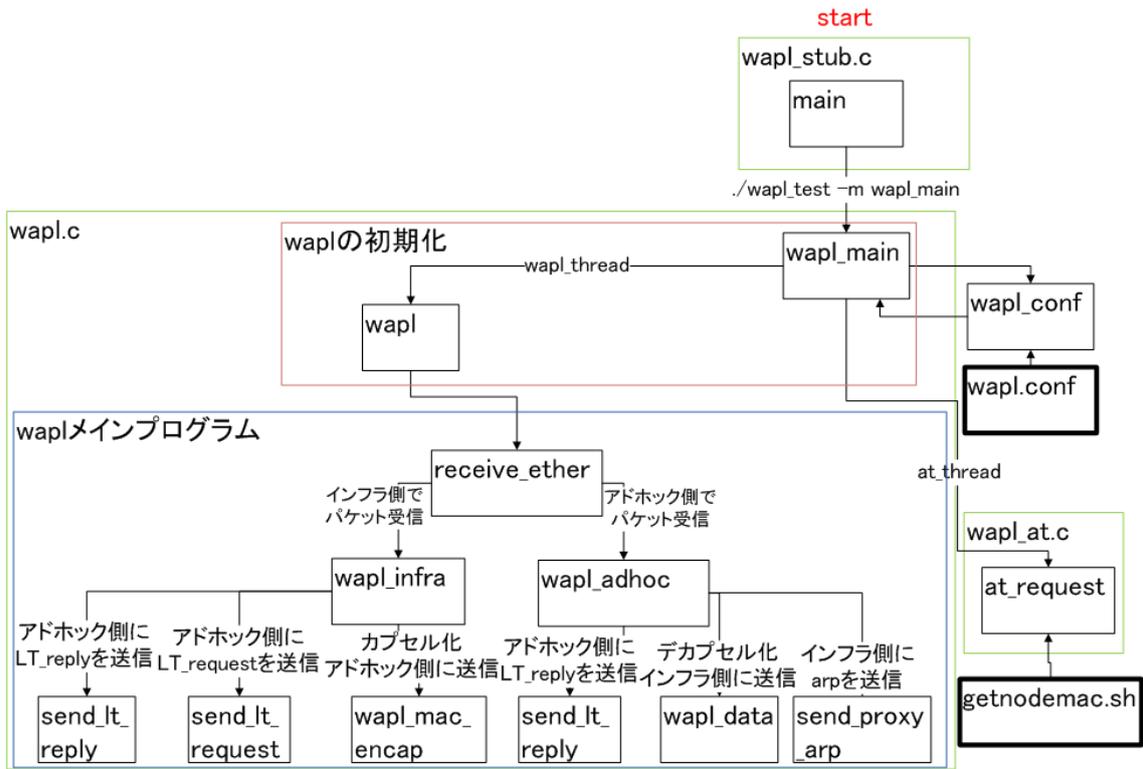
図 14 R-WAP プログラム構成

5. むすび

孤立した無線ネットワークの復旧を実現するために WAP に無線 LAN クライアント機能を持たせ、AP と WAPL を介して、切断されたネットワーク間のパケットを中継する方法を提案した。今後は実装と評価を行う。

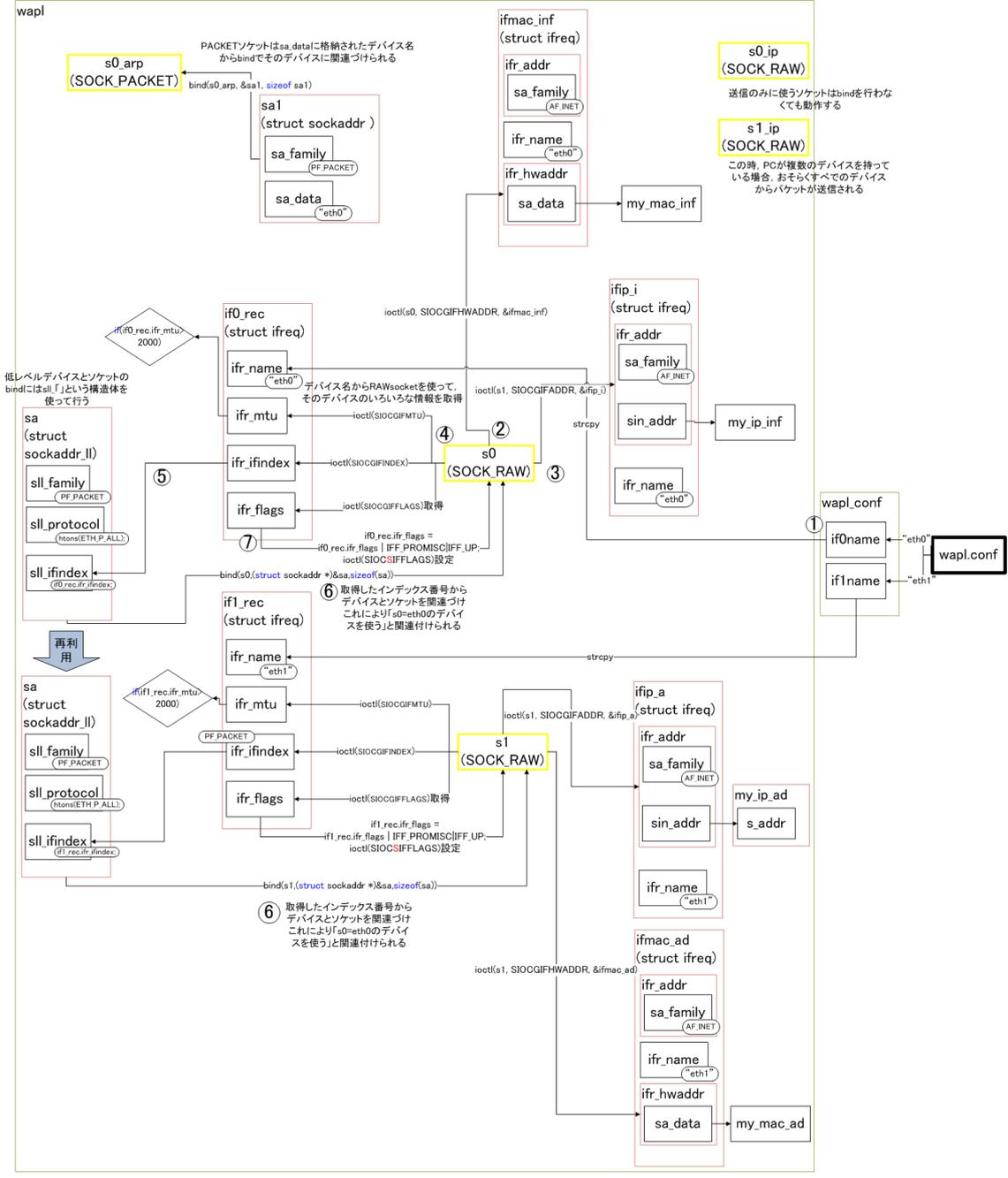
参考文献

- [1]伊藤将志,鹿間敏弘,渡邊晃 シームレスハンドオーバーを実現する無線メッシュネットワークの提案とシミュレーション評価 (DICO2007シンポジウム論文集, Vol.2007.No.1, pp.1-8)
- [2] 加藤 佳之,伊藤将志,渡邊晃 無線アクセスポイントリンク "WAPL" の提案と評価 (DICO2007 シンポジウム論文集, Vol.2007, No.1, pp.9-15)

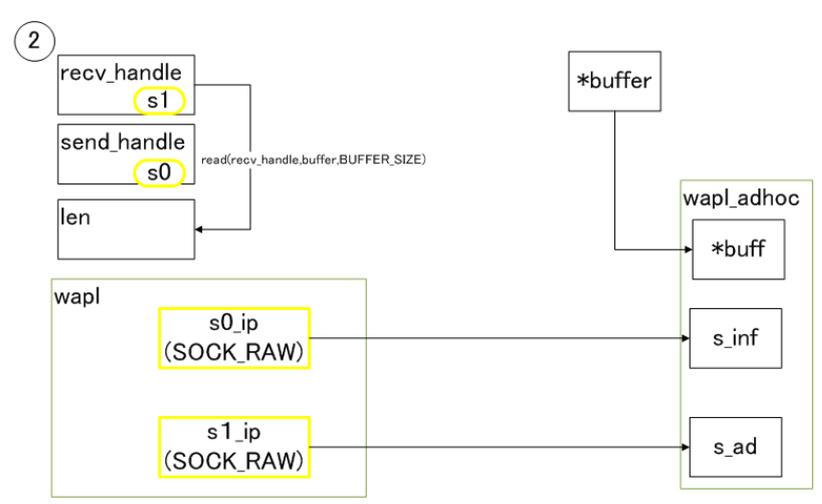
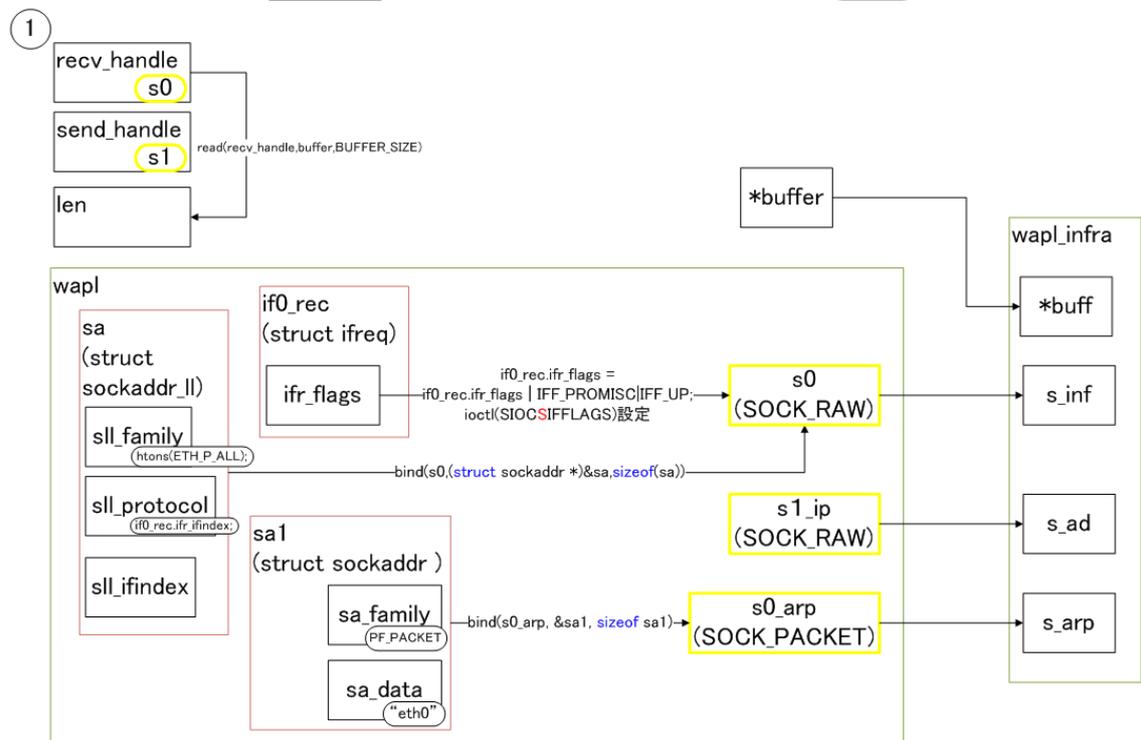
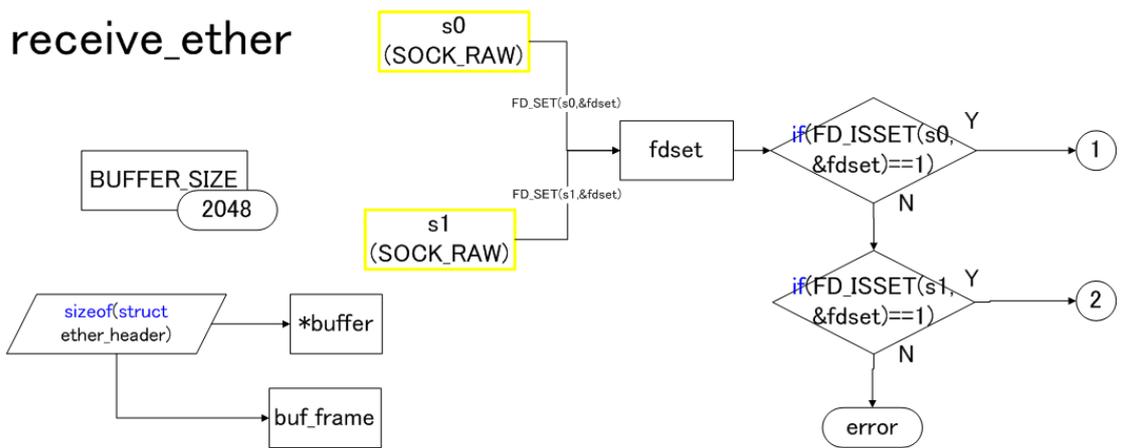


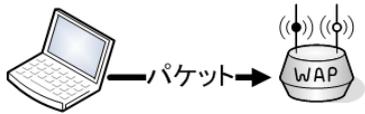
関数 ソケット 外部ファイル

構造体 引数

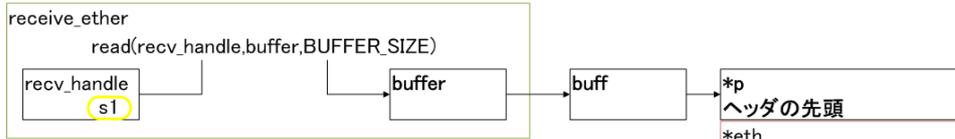


receive_ether





wapl_adhoc

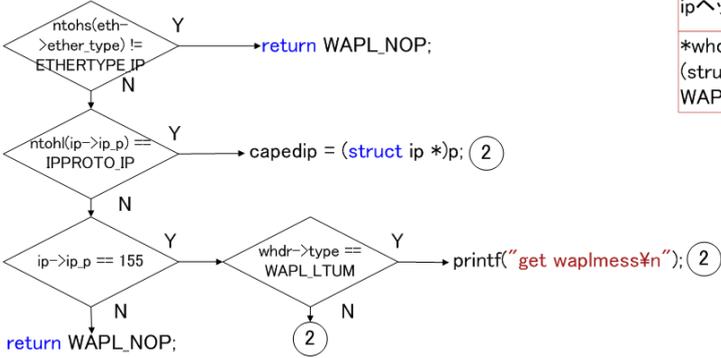


broadaddr
(struct in_addr)
"255.255.255.255"

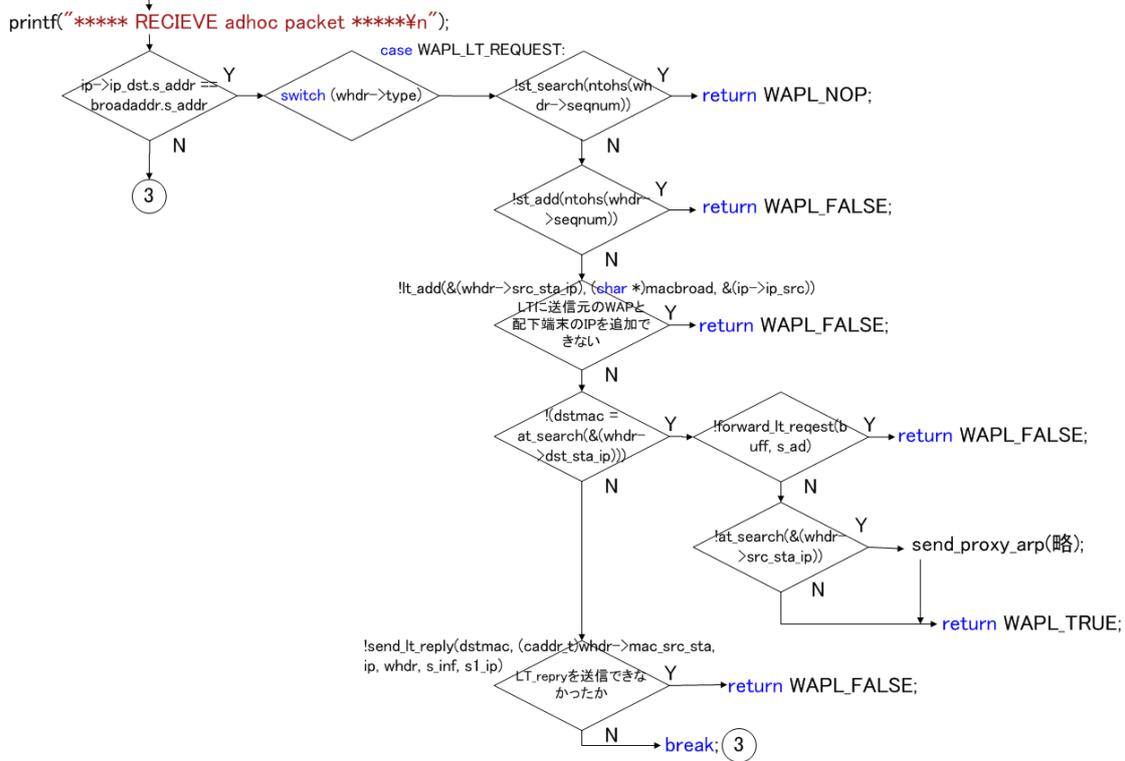
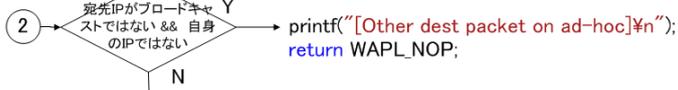
***capedip**
(struct ip)

sa1
(struct sockaddr)

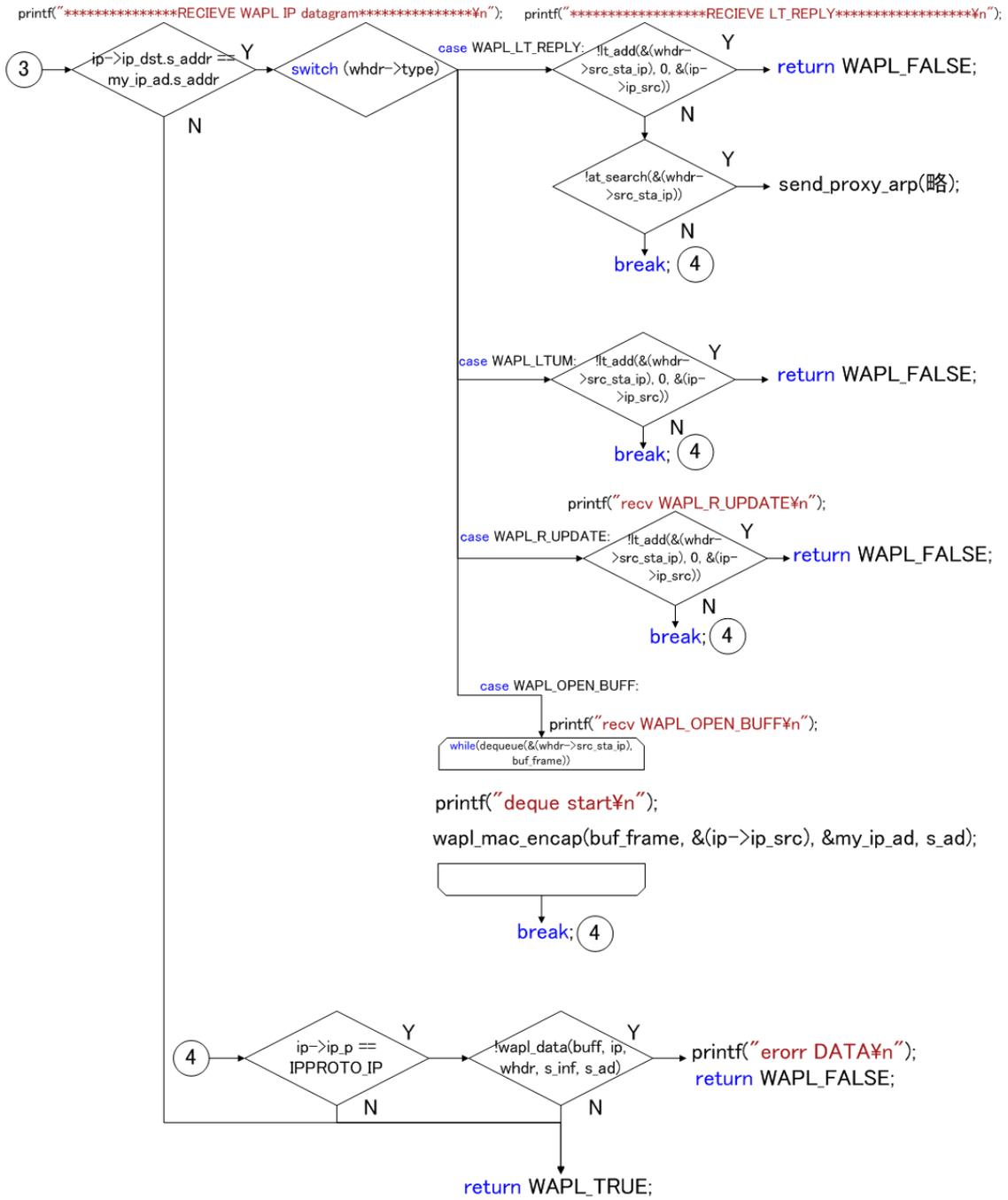
***p**
ヘッダの先頭
***eth**
(struct ether_header)
etherヘッダへのポインタ
***ip**
(struct ip)
ipヘッダへのポインタ
***whdr**
(struct wapl_hdr)
WAPLヘッダへのポインタ



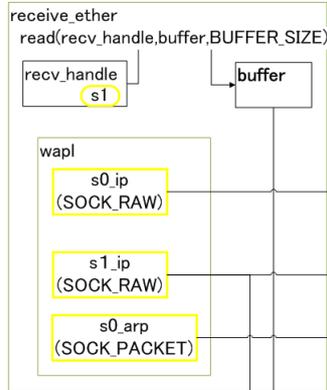
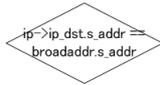
ip->ip_dst.s_addr != broadaddr.s_addr && ip->ip_dst.s_addr != my_ip_ad.s_addr



wapl_adhoc



wapl_adhoc



sa1
(struct sockaddr)

*capedip
(struct ip)

broadaddr
(struct in_addr)
"255.255.255.255"

st_search
seqnum

st_add
seqnum

lt_add
*staip
dstmac
*wapip

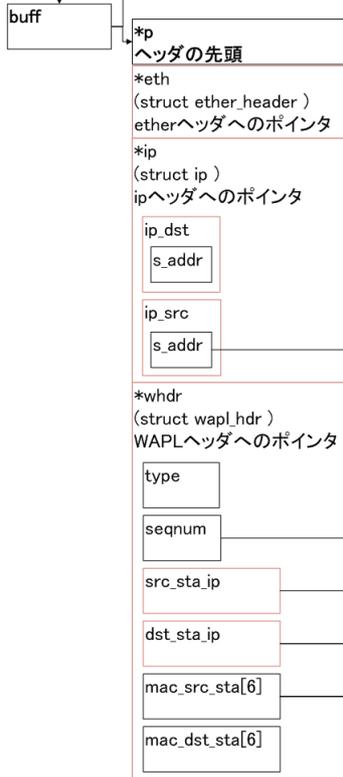
at_search
*ip

forward_lt_request
*buf
s_ad

at_search
*ip

send_proxy_arp
*arp_sha
*arp_spa
*arp_tha
*arp_tpa
*ether_dhost
*ether_shost
s
option

send_lt_reply
srcmac
dstmac
*ip
*whdr
s_inf
s_ad



s_inf

s_ad

buff

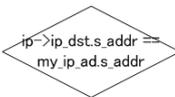
targetmac

macbroad

ARPOP_REPLY

send_lt_reply

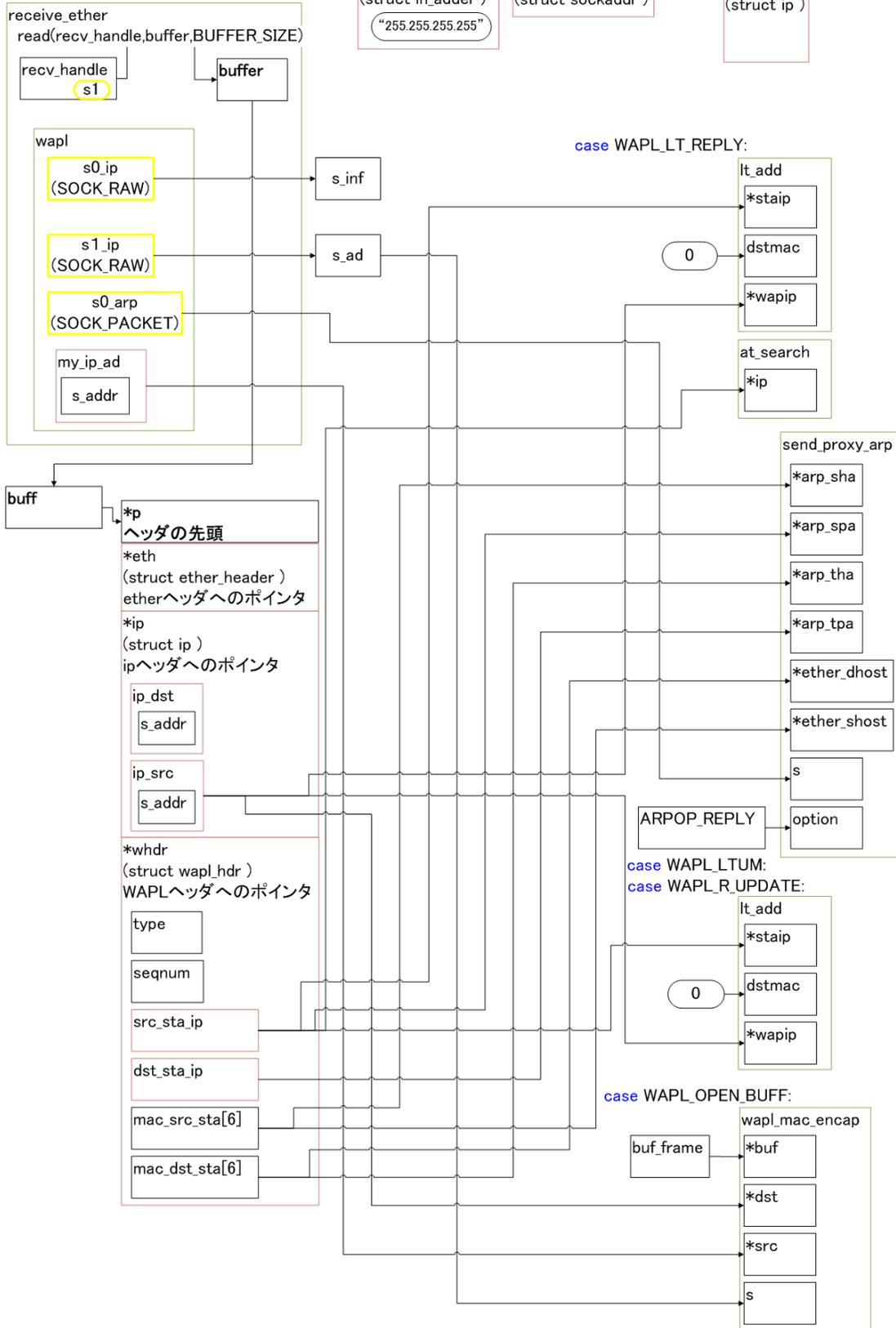
wapl_adhoc



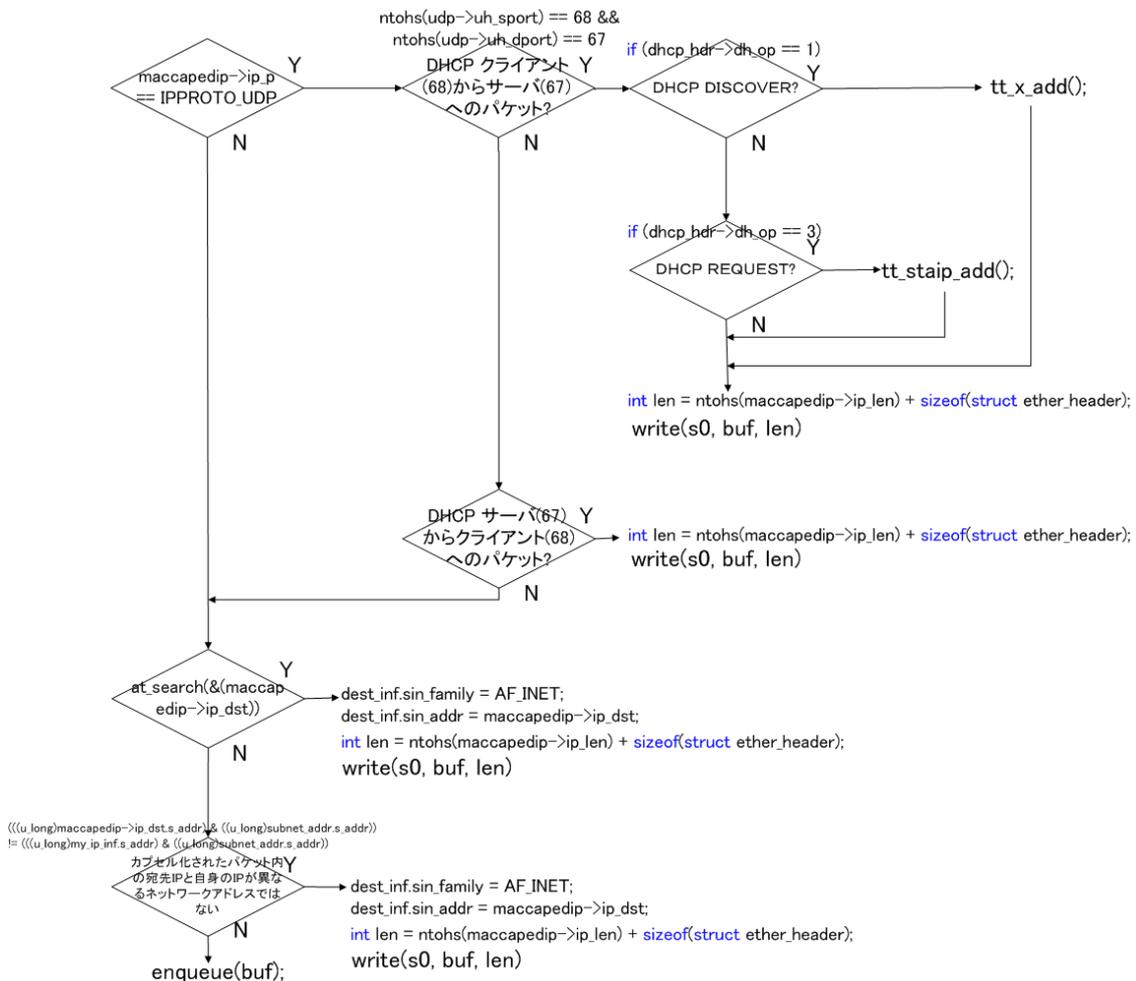
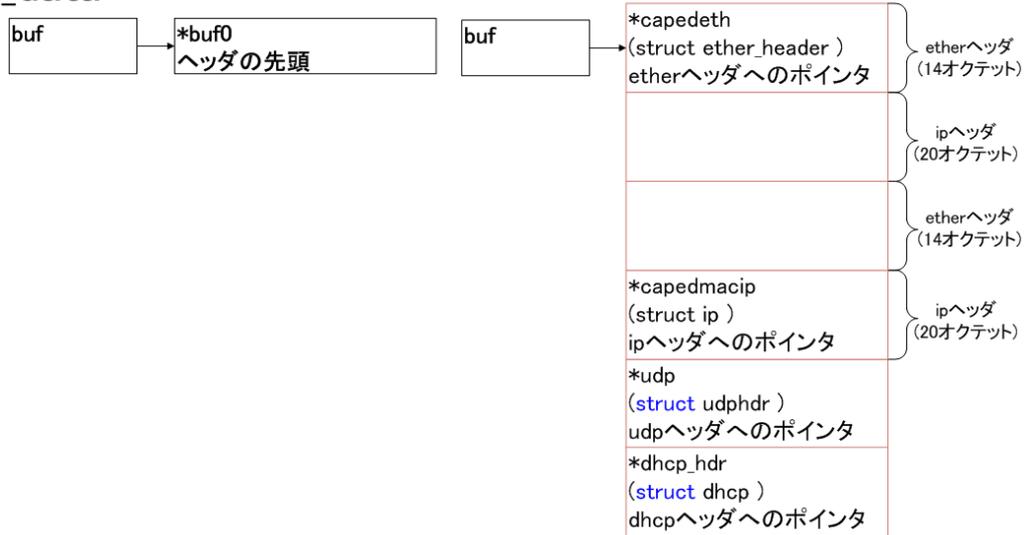
broadaddr
(struct in_addr)
"255.255.255.255"

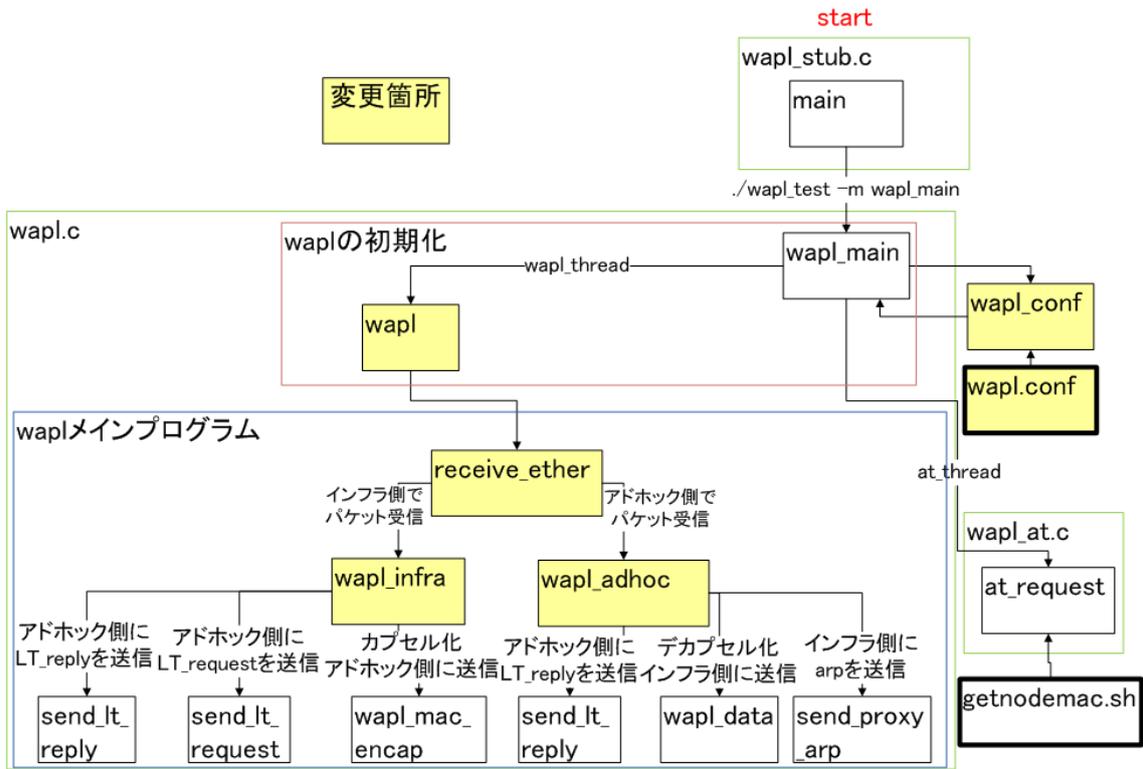
sa1
(struct sockaddr)

*capedip
(struct ip)



wapl_data

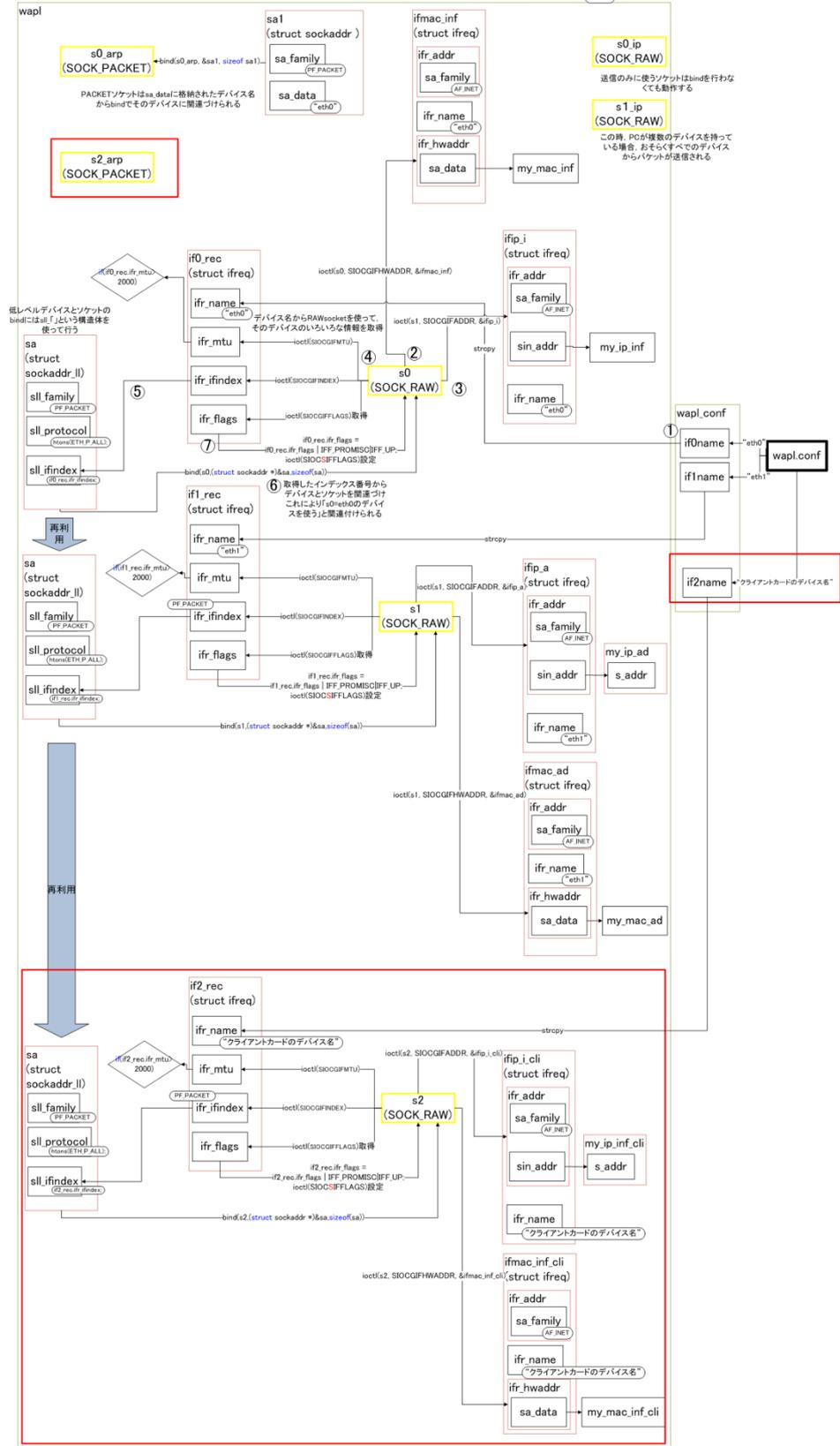




wapl(クライアント機能追加)

関数 ソケット 外部ファイル

構造体 引数



receive_ether (クライアント機能追加)

